105-01816/

Auteur

Manon Bolduc

Approuvé par

Richard Delagrave

Chef, Section Effets d'armes

© Her Majesty the Queen as represented by the Minister of National Defence, 2001

© Sa majesté la reine, représentée par le ministre de la Défense nationale, 2001

## Abstract

In recent study, the Defence Research Establishment Valcartier has modified a hybrid III head form to measure the potential lethality of small calibre projectiles against combat helmets. This head form contributes to the evaluation of a prototype helmet capacity to protect the head instead of evaluating the capacity to stop the projectile. However, prototype helmets are normally produced in limited numbers and are expensive. Plates are easier to manufacture and less expensive. DREV has completed a series of tests using small calibre projectiles to compare the results from an instrumented head protected by a composite helmet with the results from an instrumented head protected by a composite plate made with the same raw material and using the same manufacturing procedures as the composite helmet. The results showed that the technique is feasible but more tests are required to refine the approach and built the appropriate mathematical function.

## Résumé

Au cours d'études récentes, une tête hybride III a été modifiée et utilisée afin d'étudier les effets potentiellement létaux d'armes de petit calibre contre des casques de combat. Cette tête de laboratoire permet notamment de vérifier la capacité de protection de la tête par des casques prototypes au lieu d'évaluer leur capacité d'arrêt des projectiles. Cependant, l'utilisation de casques prototypes est souvent difficile en raison de leur nombre limité et de leur coût élevé. Les plaques étant plus faciles à fabriquer, elles sont généralement beaucoup moins onéreuses. C'est pourquoi le CRDV a entrepris une série d'essais utilisant un projectile de petit calibre permettant de comparer les résultats de la tête instrumentée et protégée d'un casque avec ceux d'une tête instrumentée et protégée par une plaque composite fabriquée à partir du même matériaux et selon les mêmes procédures que celles du casque. Les résultats montrent que la technique a du potentiel, mais qu'elle requiert d'autres essais pour être raffinée et pour établir la relation mathématique appropriée.

P516513.PDF [Page: 6 of 226]

Intentionnellement en blanc.

## Executive summary

In the middle '90's, the Defense Research Establishment Valcartier was involved in the preparation of the technical specification for the acquisition of the new combat helmets for the army. With the strong involvement in the peacekeeping mission of the military forces, the threat is no longer limited to fragment from shell explosion. It now includes small caliber projectiles. Methods to select material for ground troop protection were noticeably developed to evaluate the material capacity to stop the munitions. However, there is no method to evaluate the lethality level on individual soldiers when the projectile is stopped by the protection. As a result, no secondary effects coming from either impact or momentum on the soldier were known.

A study was initiated to select and developed a method that could measure terminal effects on the head when protected with a combat helmet and struck by small caliber projectiles. The testing apparatus has to sustain multiple impacts and measure parameters that could potentially be lethal to the individual. The anthropomorphic dummy hybrid III head proven for crash impact was selected. However, different sensors were selected to sustain ballistic impact on the head protected by a combat helmet. A first series of tests was conducted on different helmets. The potential of the technique was excellent but the series of tests showed the difficulty in getting a representative amount of prototype helmet. As a result, plates were investigated in a first approach as a means to replace the helmet. The plates were built with the same manufacturing standard.

This study compare the test conducted on composites plates built with the same raw material and standards as specified for the PASGT helmet. The projectile was a 9-mm bullet with velocities ranging from 275 to 350 m/s. The results on plates were compared with those an actual helmet using the same projectile calibre and velocities.

The discussion shows a comparison of results of plate and helmet. Good potential is shown for some selected parameters. More tests are required to allow the development of a mathematical function that will refine the results obtained from plate and make them closer to the helmet results. Suggestions for further work are proposed.

Bolduc, M. 2001. Comparaison d'impact balistique entre les systèmes plaques composites/tête hybride et casques de combat/tête hybride. DREV TM 2001-176 Centre de recherches pour la défense Valcartier.

## Sommaire

Dans le milieu des années 90, le Centre de recherches pour la défense Valcartier a participé à l'élaboration d'une spécification technique en vue d'acquérir de nouveaux casques de combat pour l'armée de terre. Avec le rôle maintenant dominant de l'armée dans les missions de paix, la menace ne se limite plus aux fragments, mais aussi aux munitions de petit calibre. On a alors constaté que les méthodes disponibles d'évaluation et de sélection des matériaux permettaient de connaître la capacité d'arrêt de projectiles, mais qu'aucun moyen ne mettait en évidence le niveau de protection du soldat, c'est-à-dire des effets secondaires liés à l'impact et au momentum sur l'individu.

Une vaste étude a alors été entreprise en vue de choisir et développer une méthode d'essai permettant de mesurer les effets terminaux de la tête d'un individu protégée par un casque de combat lors d'impacts non pénétrants de munitions de petit calibre. Cette méthode devait permettre d'effectuer de nombreux essais et devait mesurer les paramètres potentiellement létaux pour l'individu. La tête anthropomorphique de type Hybride III a été sélectionnée. Elle est résistante et a fait ses preuves dans le domaine lié au crash automobile. Cependant, l'instrumentation a dû être modifiée pour résister aux chocs générés durant l'impact du casque en balistique. Une première série d'essais de différents modèles de casques a démontré le potentiel de la méthode, mais a également fait ressortir la difficulté d'obtenir un nombre suffisant de casques prototypes pour faire les essais. On a donc décidé de vérifier si les casques pouvaient être remplacés par des plaques composites fabriquées selon les mêmes normes.

L'étude présentée dans ce document fait la comparaison d'essais exécutés sur des plaques composites faites à partir du même matériau et selon les mêmes normes que le casque PASGT. Un projectile de 9 mm est utilisé pour des vitesses variant de 275 à 350 m/s. Les résultats sont comparés à ceux d'essais faits sur des casques PASGT pour le même calibre de projectile et aux mêmes vitesses.

La discussion fait ressortir la ressemblance dans les résultats de certains paramètres d'essais. D'autres essais sont nécessaires afin d'établir une fonction mathématique qui raffinera les résultats obtenus avec les plaques et qui les rapprochera des résultats mesurés sur des casques. Des suggestions sont données pour une étude future.

Bolduc, M. 2001. Comparaison d'impact balistique entre les systèmes plaques composites/tête hybride et casques de combat/tête hybride. DREV TM-2001-176. Centre de recherches pour la défense Valcartier.

# Table des matières

Abstract ..... i

Résumé ..... i

Executive summary ..... iii

Sommaire ..... iv

Table des matières ..... v

Liste des figures ..... vii

Liste des tableaux ..... vii

Remerciements ..... viii

1 Introduction ..... 1

2 Montage ..... 1

2.1 Tête instrumentée ..... 1

2.2 Acquisition ..... 3

2.3 Support de cible ..... 4

2.3.1 Casque ..... 4

2.3.2 Plaque ..... 4

2.4 Système de lancement du projectile ..... 5

3 Résultats ..... 6

4 Discussion ..... 11

4.1 Capteur de force PVDF ..... 11

4.2 Accélération de la tête, forces et moments du cou ..... 14

5 Conclusion ..... 17

6 Références ..... 18

Liste de distribution ..... 19

Annexe A

Annexe B

Annexe C

## Liste des figures

Figure 1. Schéma de la tête hybride III ..... 2

Figure 2. Montage du capteur PVDF sur la tête hybride ..... 3

Figure 3. Montage pour essais avec casque ..... 4

Figure 4. Exemple d'un montage avec plaque tenue rigidement sur le contour ..... 5

Figure 5. Exemple d'un montage avec plaque tenue aux quatre coins ..... 5

Figure 6. Système de lancement avec radar et projectile 9 mm ..... 6

Figure 7. Capteur PVDF avec ses 5 zones sensibles ..... 9

Figure 8. Exemple de résultats avec capteur PVDF. A) Avec deux sommets, B) Deux sommets, le deuxième peu ou pas distinctif, C) Un seul sommet ..... 10

Figure 9. Exemple de comparaison de résultats casque-plaque pour la force de contact ..... 11

Figure 10. Exemple de comparaison de résultats casque-plaque pour l'accélération ..... 11

Figure 11. Résultats pour comparaison plaque P10-322 et casque S7285 ..... 15

Figure 12. Spectre en fréquence lors d'impact balistique sur tête instrumentée ..... 16

## Liste des tableaux

Tableau 1. Casques aramide ..... 7

Tableau 2. Plaques aramide ..... 7

Tableau 3. Résultats capteur PVDF pour casques aramide ..... 8

Tableau 4. Résultats capteur PVDF pour plaques aramide ..... 8

Tableau 5. Comparaison des résultats ..... 12

## Remerciements

L'auteur désire remercier tout spécialement les techniciens qui ont contribué au succès de l'expérimentation. En particulier, Jacques Blais du Groupe des effets terminaux pour sa contribution en balistique, Denis Lebel et Daniel Brousseau, du CEEM, pour l'acquisition de données, Guy Bilodeau et Jean Michaud, également du CEEM, pour le fonctionnement des caméras à haute vitesse.

L'auteur désire également remercier les personnes qui ont révisé ce document pour leur temps et leurs commentaires.

# 1 Introduction

Le Centre de recherches pour la défense Valcartier travaille depuis quelques années à une étude en vue de mettre au point une méthode d'essai permettant de mesurer les effets terminaux sur la tête d'un individu protégée par un casque de combat lors d'impacts non pénétrants de munitions de petit calibre. Une tête hybride III a donc été adaptée aux contraintes d'essais afin d'identifier et de mesurer les paramètres potentiellement létaux pour l'individu (réf. 1 et 2). Une première série d'essais sur différents modèles de casques a fait ressortir la difficulté d'obtenir un nombre suffisant de casques prototypes pour procéder aux essais. On a donc décidé de vérifier si les casques pouvaient être remplacés par des plaques composites fabriquées à partir des mêmes matériaux et selon les mêmes paramètres de fabrication.

L'étude présentée dans ce document fait la comparaison d'essais exécutés sur des plaques composites faites à partir du même matériau et selon les mêmes normes que le casque PASGT (réf. 3). Un projectile de 9 mm est utilisé pour des vitesses variant de 275 à 350 m/s. Les résultats sont comparés à ceux d'essais effectués sur des casques PASGT avec le même calibre de projectile et aux mêmes vitesses.

La discussion fait ressortir la ressemblance dans les résultats pour certains paramètres d'essais. D'autres expériences sont nécessaires afin d'établir une fonction mathématique qui raffinera les résultats obtenus avec les plaques et qui les rapprochera des résultats mesurés sur des casques. Des suggestions sont données pour une étude future.

Les résultats présentés dans ce document regroupent les données d'essais effectués entre mars et mai 1999.

# 2 Montage

## 2.1 Tête instrumentée

Le montage utilisé pour ces essais est le résultat d'études antérieures (réf. 4,5,6 et 7) qui ont permis d'établir la procédure d'essai et la sélection des différents capteurs qui répondent le mieux à nos besoins (réf. 1 et 2 ). Seuls les éléments qui constituent le montage final sont présentés dans ce document.

La structure d'aluminium de la tête hybride III a été utilisée. Elle a été équipée de 9 accéléromètres, modèle PCB305A04, distribués par InterTechnology Inc. (capteurs identifiés par les cercles rouges, fig. 1). Ce capteur possède un élément en quartz assemblé en configuration compression par le haut (« up-right compresssion mode »). Il a une fréquence naturelle de 60 kHz et une plage dynamique de 5000 G avec une réponse en fréquense de 0,1 à 20 000 G (± 3 dB). Une cellule de charge, à six axes, modèle 1716 fabriqué par R.A. Denton était montée sur la partie supérieure du cou du mannequin (capteur identifié par les cercles verts, fig. 1). Cette cellule comprend trois capteurs pour la force multidirectionnelle et

trois capteurs pour les moments multidirectionnels. Cette cellule de charge a une capacité de 8 900 N et de 280 Nm respectivement. La fréquence de résonance est de 5 000 Hz avec une déviation maximale de 5 %.

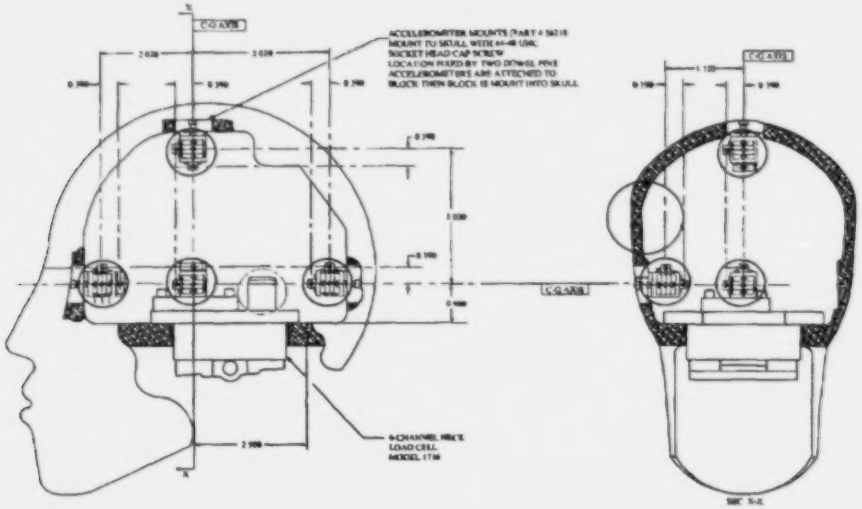


Figure 1. Schéma de la tête hybride III
rouge = accéléromètres
vert = cellules de forces et moments,
bleu= capteur PVDF

À la surface de la structure de la fausse tête, entre la fausse peau et la boite crânienne d'aluminium, était collée une matrice PVDF (polyvinylidene fluoride) sensible aux forces de contact (capteur identifié par les cercles bleus de la fig. 1). Ce capteur est de type piézo-électrique et fournit une charge proportionnelle à la force de contact appliquée. Le capteur est constitué de cinq zones sensibles de 3 mm x 3 mm chacune avec une épaisseur de 25 µm. Le capteur a été positionné dans une région de la tête où la courbure n'est pas trop prononcée pour les cinq zones sensibles, soit sur un côté de la tête. (fig. 2). Chacune des zones étant indépendante, elles permettent d'obtenir la répartition de la force d'impact sur la surface étudiée. Ce capteur est étalonné jusqu'à 25 GPa avec un temps de réponse de 10 nsec. La force a été calculée à partir d'une valeur nominale de 15.7 pC/N. Puisque la mise au point de ce capteur n'était pas terminée, il n'était pas possible d'avoir une valeur étalonnée pour chacune des zones sensibles. Une erreur estimée à 5 % a été utilisée dans le calcul de la force.

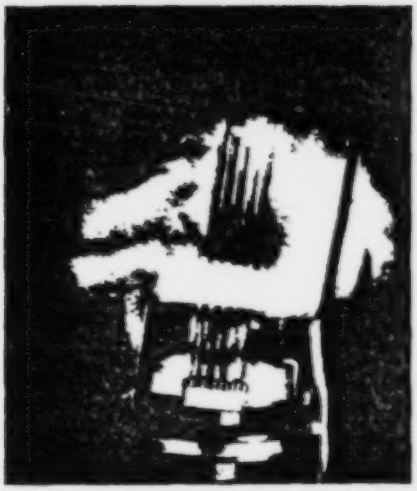


Figure 2. Montage du capteur PVDF sur la tête hybride

## 2.2 Acquisition

Un système d'acquisition GageScope modèle CS72 de 14 canaux d'entrée avec convertisseur de signal A-D pour oscilloscope numérique PC, de même qu'un logiciel d'acquisition ont été utilisés pour mettre en mémoire les données numérisées des 9 accéléromètres de la tête et des trois charges et deux moments de la cellule de charge du cou. Ce système a une impédance de 1 MΩ, une capacitance de 7 pF avec une largeur de bande de 20 MHz pour une résolution de 12 bites. Un conditionneur de signal avec un amplificateur Endevco, modèle 4429 sert à alimenter les capteurs. Un filtre passe-bas de 20 kHz a été utilisé sur chacun des conditionneurs. Les données analogiques étaient numérisées à un taux d'échantillonnage de 100 kHz au moyen d'un convertisseur analogique/numérique filtré par un filtre, de classe CFC 1000, tel que recommandé par la norme SAE J211 (réf. 8) pour l'utilisation de l'instrumentation du mannequin hybride III. L'acquisition pour un des moments de la cellule de charge a dû être faite avec l'appareil LECROIX, modèle 6810, en raison du nombre insuffisant de canaux d'acquisition sur l'appareil GageScope.

L'acquisition des forces de contact a été effectuée avec le système LECROIX, modèle 6810, à un rythme de 5 MHz. Le système LECROIX a une impédance de 1 MΩ, une capacitance de 40 pF avec une largeur de bande de 2.5 MHz DC et une résolution de 12 bites.

Le mode «voltage» avec une sortie de 10V a été utilisé pour le capteur piézo-résistant (la cellule de charge). Les capteurs piézo-électriques (la cellule PVDF et les accéléromètres) étaient branchés en mode «tension».

## 2.3 Support de cible

### 2.3.1 Casque

Le casque utilisé est le modèle PASGT, fabriqué selon la norme MIL-H-44099A (réf. 3). Il est facilement disponible et constitue la référence la plus courante dans les études sur les casques polymériques en raison de leur longue histoire. Ils étaient placés sur la tête instrumentée et étaient tenus fermement par leur système de courroie. Un gabarit était utilisé pour positionner les casques et assurer une constance dans les essais. Selon les recommandations de la norme américaine, le format du casque devait être choisi de façon à avoir une distance de 6.5 mm entre la tête et l'intérieur du casque. Puisque la fausse tête simule une personne du 50$^{ème}$ pourcentile, la grandeur moyenne est celle qui rencontre la norme. La tête du mannequin et son cou étaient fixés sur un trépied rigide possédant les ajustements en x, y, z et en rotation pour permettre l'alignement dans toutes les positions et assurer que le projectile et le point d'impact sont perpendiculaires. Tous les tirs ont été complétés avec le même montage et avec la même approche. Le montage utilisé est montré en fig. 3.

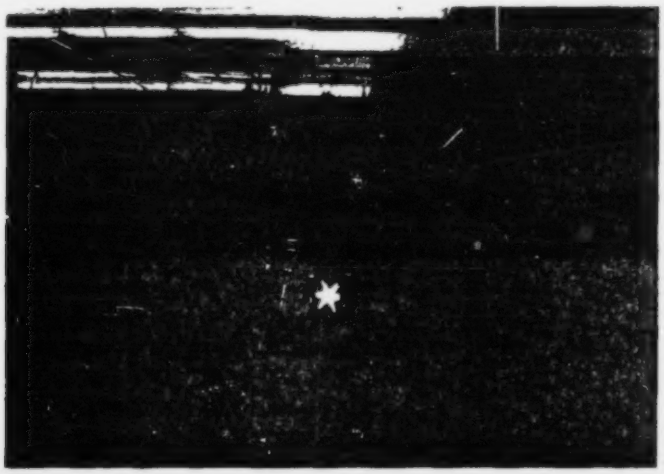


Figure 3. Montage pour essais avec casque

### 2.3.2 Plaque

La fabrication des plaques est conforme à la norme de fabrication des casques PASGT (réf. 3). Il était ainsi possible de faire le rapprochement entre les résultats des essais des casques et des plaques. Ces plaques mesurent 30 cm x 30 cm et ont une épaisseur de 10 mm. Deux systèmes d'attache ont été utilisés. Dans le premier, la plaque était maintenue rigidement entre deux cadres métalliques (fig. 4). Le deuxième système tenait les plaques par quatre coins métalliques seulement (fig. 5). Ce système reproduisait mieux les effets observés avec le casque. Il a donc été utilisé pour la majorité des essais. Les coins mesuraient 7.62 cm x 7.62 cm et avaient 6.4 mm d'épaisseur.

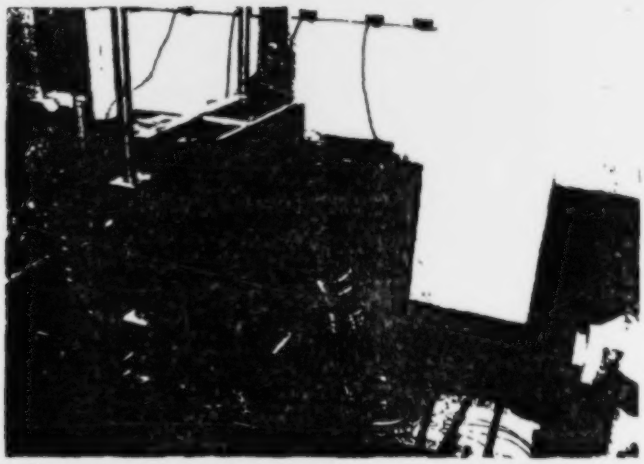


Figure 4. Exemple d'un montage avec plaque tenue rigidement sur le contour

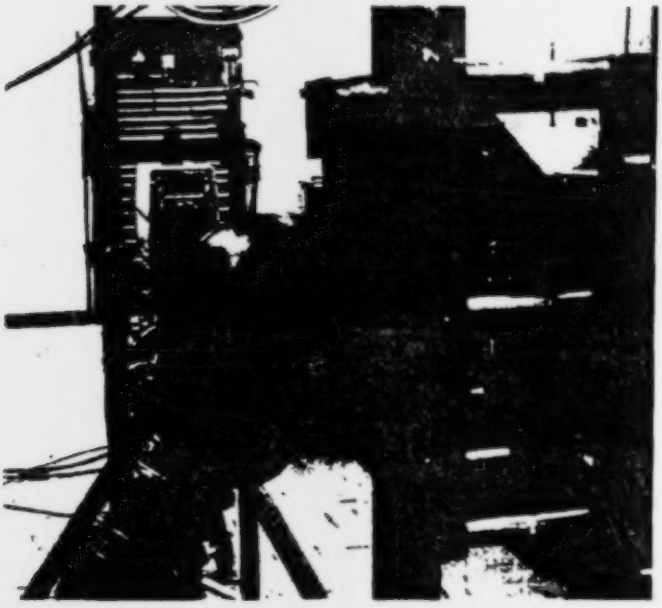


Figure 5. Exemple d'un montage avec plaque tenue aux quatre coins

## 2.4 Système de lancement du projectile

Le projectile est lancé par un canon universel de calibre 9 mm de marque LUGER no. 3 de 446.5 mm de longueur et ayant un pas de 1/10 (le pas est une rayure intérieure de un tour au 10 pouces ou 25.4 cm) (fig. 6). La poudre utilisée pour propulser les projectiles est de type «Bulleyes» de 4 grains. Les amorces sont des CCI 550. La distance entre la bouche du canon et la cible est de 4.0 mètres. La vitesse est mesurée grâce à un système radar manufacturé par

la compagnie Radar Therma Electronik AS, modèle ED 855109. La fréquence du radar est de 0.49 GHz avec un faisceau de 10 degrés. Le projectile est un FMJ RN Hornady (full metal jacket round nose ) de 9 mm pesant 124 grains.

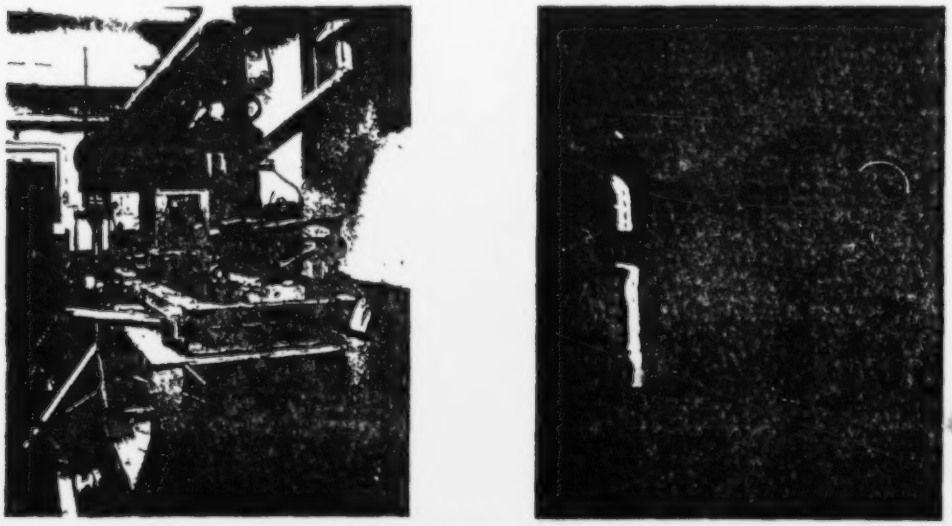


Figure 6. Système de lancement avec radar et projectile 9 mm

# 3 Résultats

Les tableaux 1 et 2 montrent l'identification des échantillons pour les essais faits avec les casques et les plaques composites. En tout, 9 casques et 12 plaques ont été testés. Tels qu'identifiés dans le tableau 2 pour les plaques, deux systèmes de retenus ont été utilisés et différents espacements entre la tête et la plaque testée ont été essayés afin de trouver le montage qui donne des résultats se rapprochant le plus possible de ceux des casques. Les vitesses indiquées dans ce tableau sont celles estimées ou désirées. Les vitesses mesurées durant l'essai peuvent être légèrement différentes. Elles sont présentées dans le tableau 3 avec les résultats.

***Tableau 1.** Casques aramide*

***Projectile de 9 mm, 124 gr.***

| Vitesse (estimée) m/sec | # essai | | |
|---|---|---|---|
| 300 | S7284 | S7285 | S7286 |
| 325 | S7262 | S7264 | S7271 |
| 350 | S7297 | S7298 | |

***Tableau 2.** Plaques aramide*

***Projectile de 9 mm, 124 gr.***

| Espacement tête/plaque mm | Système de retenu | Vitesse (estimée) m/sec | # essai |
|---|---|---|---|
| 0 | aux 4 coins | 300 | P11-323 |
| 6 | aux 4 coins | 275 | P09-321 |
| | | 300 | P10-322<br>P12-324 |
| | | 325 | P08-320 |
| | | 350 | P07-319 |
| 13 | sur tout le contour | 275 | P02-314 |
| | | 300 | P03-315 |
| | | 325 | P01-313<br>P04-316<br>P05-317 |
| 13 | aux 4 coins | 300 | P06-318 |

Les tableaux 3 et 4 donnent les forces maximales mesurées durant les essais avec le capteur de force PVDF. Chaque capteur a 5 zones sensibles (fig. 7). Chaque essais est identifié selon la même terminologie que les tableaux 1 et 2. Les vitesses données sont celles mesurées. La fig. 8a-b-c montre un exemple de graphiques obtenus. Dans l'exemple 8a, deux sommets sont clairement identifiables. Le premier est un pic et le deuxième est comme une seconde onde qui suit le pic. Cependant, il y a des cas ou il n'y a pas de pic qui se détache et le deuxième sommet se retrouve au même niveau que le premier tel que montré en fig. 8b. Il est alors plus difficile de parler de deux sommets distincts. Ces cas sont identifiés par un * après le chiffre. Il y a d'autres cas ou il n'y a qu'un seul sommet (fig. 8c). C'est pourquoi dans le tableau des résultats, il y a des cases vides. De plus, il y a des cas ou les résultats sont tellement faibles qu'ils font partie du bruit émis par le signal. Ils sont représentés par le symbole ⊗ dans les tableaux. Tous les résultats sont montrés sous forme graphique dans les annexes A, B et C.

***Tableau 3.** Résultats capteur PVDF pour casques aramide*

| # essai | Vitesse mesurée (m/s) | Zone #1 | | Zone #2 | | Zone #3 | | Zone #4 | | Zone #5 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Force max. #1 (N) | Force max. #2 (N) | Force max. #1 (N) | Force max. #2 (N) | Force max. #1 (N) | Force max. #2 (N) | Force max. #1 (N) | Force max. #2 (N) | Force max. #1 (N) | Force max. #2 (N) |
| S7284 | 299.6 | Ø | Ø | Ø | Ø | Ø | Ø | Ø | Ø | Ø | Ø |
| S7285 | 300.6 | 313 | | 345 | | 106 | 119 | 285 | | 275 | |
| S7286 | 303.4 | 303 | 279 | 220 | 220 | 83 | 68 | 149 | 149 | 149 | 154 |
| S7262 | 328.0 | 129 | 101 | 46 | 64 | 127 | 130 | 59 | | 116 | 122 |
| S7264 | 315.0 | 63 | | 54 | | 78 | 90 | 50 | | 59 | |
| S7271 | 321.0 | 134 | | 50 | | 139 | 139 | 15 | 43 | 62 | 51 |
| S7297 | 350.1 | 611 | | 376 | | 235 | 191 | 319 | | 330 | |
| S7298 | 350.3 | 669 | | 331 | | 239 | | 364 | | 336 | |

Ø: Le détecteur qui initie la prise de données n'a pas fonctionné. Aucune donnée n'a été recueillie.

***Tableau 4.** Résultats capteur PVDF pour plaques aramide*

| # essai | Vitesse mesurée (m/s) | Zone #1 | | Zone #2 | | Zone #3 | | Zone #4 | | Zone #5 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Force max. #1 (N) | Force max. #2 (N) | Force max. #1 (N) | Force max. #2 (N) | Force max. #1 (N) | Force max. #2 (N) | Force max. #1 (N) | Force max. #2 (N) | Force max. #1 (N) | Force max. #2 (N) |
| P01-313 | (325) | 353 | 276 | 291 | 242 | 175 | 124 | 291 | 297 | 296 | 240 |
| P02-314 | 270 | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ |
| P03-315 | 298 | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ |
| P04-316 | 328 | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ |
| P05-317 | 335 | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ |
| P06-318 | 300 | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ |
| P07-319 | 349 | 528 | 409 | 335 | 320* | 167 | 127 | 238 | 235 | 364 | 217 |
| P08-320 | 327 | 490 | 477 | 347 | 332 | 298 | 193 | 342 | 315* | 440 | 303 |
| P09-321 | 262 | 315 | 254 | 184 | 189 | 117 | 93 | 187* | 189 | 217 | 132 |
| P10-322 | 301 | 291 | 166 | 151 | 175 | 166 | 67* | 225* | 247 | 351 | 144 |
| P11-323 | 300 | 525 | | 364 | 376 | 409 | | 369 | 367 | 604 | |
| P12-324 | 304 | 347 | 254 | 175* | 217 | 332 | 217* | 360* | 418 | 548 | 476 |

⊗: Données recueillies très faibles. Elles peuvent se confondre avec le bruit dans le signal.
( ) : Mesure estimée. Le déclencheur n'a pas fonctionné et il n'a pas été possible d'obtenir la valeur mesurée de la vitesse.
*: Sommet peu distinct.

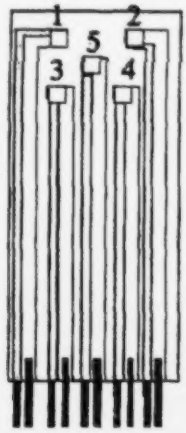
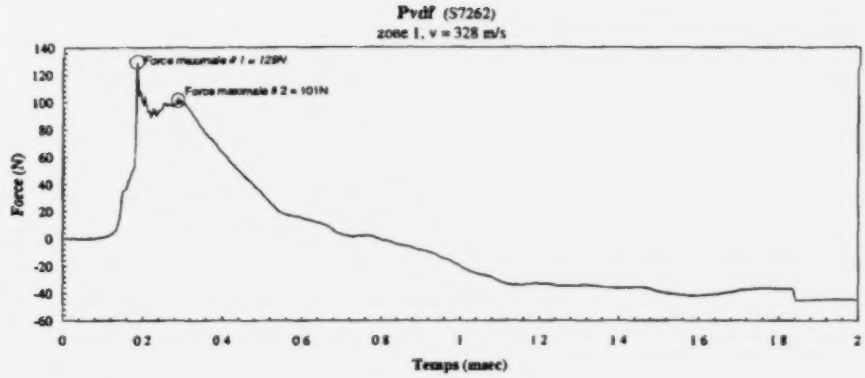


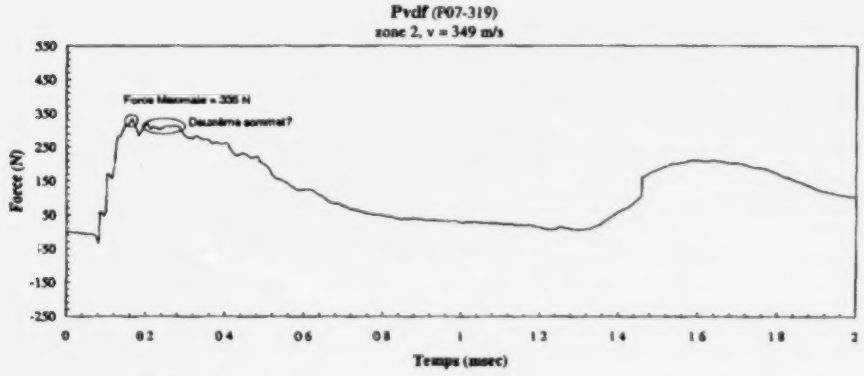

Figure 7. Capteur PVDF avec ses 5 zones sensibles

Pour faire la comparaison, les résultats montrant les courbes de forces de contact pour les casques ont été superposés avec ceux des plaques. À noter que les résultats des plaques distantes de la tête par 13 mm étant presque nulles, ils n'ont pas pus être comparés avec les résultats des casques. Les résultats de ses plaques sont quand même inclus dans les annexes. Pour les plaques dont la comparaison est possible, les résultats sont superposés selon la vitesse et selon la zone d'impact du capteur. Un exemple de comparaison est montré en fig. 9.

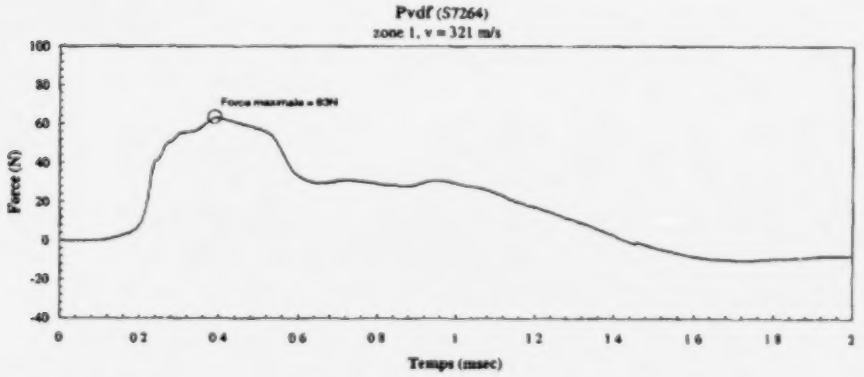
Tous les résultats des accélérations de la tête, des forces et des moments au cou sont donnés dans les annexes A, B et C. Tout comme pour les forces de contact, les accélérations de la tête, des forces et moments au cou pour les plaques distantes de 13 mm sont négligeables. La comparaison des accélérations a été faite après que les résultats aient été filtrés selon la norme SAE J211 pour l'utilisation du mannequin hybride III. Un exemple de ces résultats est montré en fig. 10.




A




B




C

Figure 8. Exemple de résultats avec capteur PVDF. A) Avec deux sommets, B) Deux sommets, le deuxième peu ou pas distinctif, C) Un seul sommet

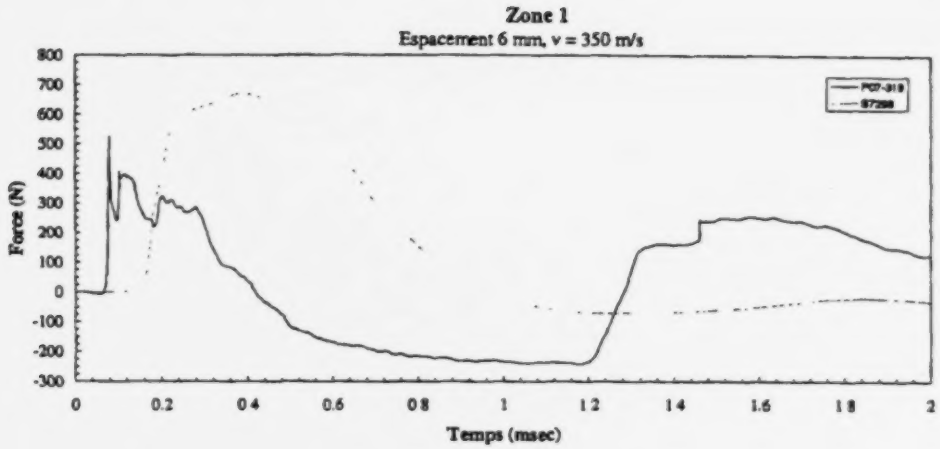



Figure 9. Exemple de comparaison de résultats casque-plaque pour la force de contact

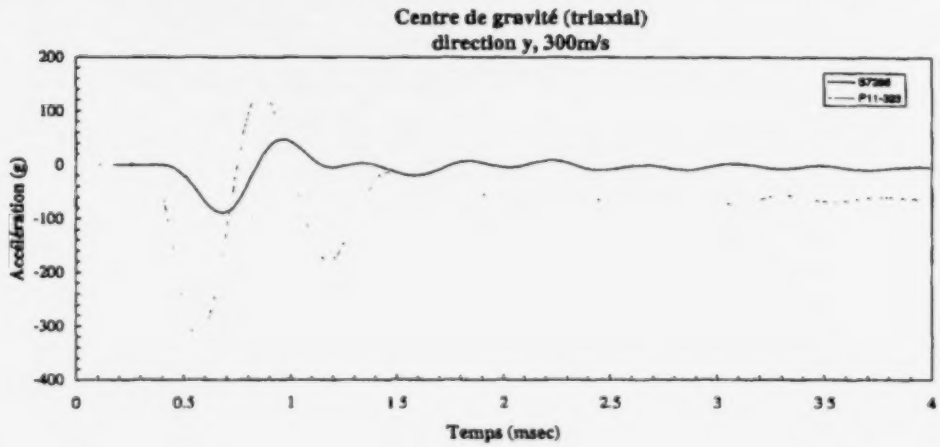



Figure 10. Exemple de comparaison de résultats casque-plaque pour l'accélération

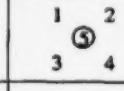
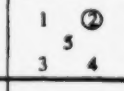
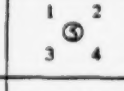
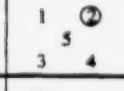
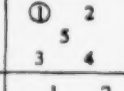
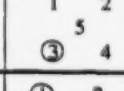
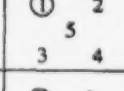
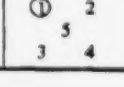
# 4 Discussion

## 4.1 Capteur de force PVDF

La mesure de la force de contact sur le crâne est une donnée importante puisqu'elle indique le potentiel de lésions locales au cerveau. Si on désire utiliser une plaque à la place d'un casque dans les essais, il est donc important que les résultats générés par la plaque reflètent l'effet du casque dans les mêmes circonstances.

Une des prémisses qui a influencé l'approche utilisée dans les essais est que nous pensions que les plaques étaient plus rigides que les casques. En effet, les plaques sont fabriquées avec des tissus dont les plis sont sans défaut ou continu, contrairement au casque dont la forme arrondie oblige à faire des coupures dans les tissus, généralement en forme de marguerite. Ainsi, cette rigidité supérieure pourrait se traduire par des résultats plus faibles, i.e. une crête inférieure et un temps de contact moindre. Afin de vérifier cette prémisse, nous avons décidé de faire varier la distance de la plaque par rapport au point de contact sur la fausse tête. Ainsi, on peut compenser une rigidité plus grande en rapprochant les plaques pour obtenir une valeur crête comparable. Afin de confirmer notre penser, nous avons fait des essais dont l'espacement variait de 0 mm à 13 mm. La comparaison des résultats est montrée au tableau 5.

***Tableau 5.** Comparaison des résultats*

| Échantillons | Espacement mm | Vitesse m/s | Zone 1 | Zone 2 | Zone 3 | Zone 4 | Zone 5 | PVDF |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P11-323 | 0 | 300 | 525 | 364 | 409 | 367 | 604 |  |
| S7285 | 13 | 300 | 313 | 345 | 119 | 285 | 275 |  |
| P10-322 | 6 | 301 | 291 | 151 | 166 | 247 | 351 |  |
| S7285 | 13 | 300 | 313 | 345 | 119 | 285 | 275 |  |
| P08-320 | 6 | 327 | 490 | 347 | 298 | 342 | 440 |  |
| S7262 | 13 | 328 | 129 | 64 | 130 | 59 | 122 |  |
| P07-319 | 6 | 349 | 528 | 335 | 167 | 238 | 364 |  |
| S7298 | 13 | 350 | 669 | 331 | 239 | 364 | 336 |  |

La colonne PVDF du tableau 5 montre les zones d'impact sur le capteur PVDF. Le nombre encerclé en noir représente la zone ou la mesure de force était la plus forte. Le nombre dans le cercle jaune montre la deuxième zone de force maximale. La section en bleu montre la distribution de la force sur le capteur et aide a visualiser la direction prise par le projectile durant l'impact. À noter que le point d'impact était toujours aligné sur la zone 5 avant chacun des essais. Il est donc clair que le projectile migre durant l'essai et cela même pour les plaques.

Nous avons débuté les essais avec le même espacement que les caques, soit 13 mm. Notre premier montage supportait la plaque sur tout le contour. Cinq essais ont été faits autour de 275 m/s, 300 m/s et 325 m/s. En général, les résultats sont très faibles, voir presque nuls (Annexe B). Cependant, un cas (plaque P01-313) donne des résultats dont les niveaux crêtes se rapprochent de ceux du casque dans les mêmes circonstances. Malheureusement, la vitesse d'impact n'a pu être mesurée (le déclencheur n'a pas fonctionné) et il est impossible de vérifier si cette vitesse était supérieure à celle prévue. Nous avons donc refait deux essais autour de cette vitesse (325 m/s) et les deux ont donné des forces de contacts quasi nulles. Nous avons donc décidé de ne pas considérer le résultat de la plaque P01-313. En observant le système de retenu du casque sur la tête, nous avons conclu que retenir les plaques sur tout le contour était trop rigide et qu'il ne correspondait pas au comportement du casque. Nous avons donc refait un essai à 13 mm, mais en tenant la plaque aux quatre coins. La réponse est restée très faible. Les résultats indiquent que cette distance n'est donc pas représentative du comportement du casque.

Une seule plaque a été testée avec un espacement tête/plaque nul. Dans ce cas (plaque P11-323), le tableau 5 montre que la force minimale mesurée pour la plaque (364 N) est supérieure à la force maximale mesurée pour un casque (345 N, casque S7285) lorsque testé à la même vitesse d'impact. De plus, les graphiques pour ce cas (l'annexe A), confirme que le temps de contact pour la plaque est nettement moindre, soit 0.15 msec comparé à 0.8 msec. La forme de la courbe montre un pic pointu donc un contact maximum très bref pour la plaque alors qu'il est plutôt allongé pour le casque. On peut également observer que le début du contact pour la plaque se fait bien avant le début de contact pour le casque. Étant donné que le casque est distant de plus de 13 mm, il est normal que la période de déformation du casque avant l'entrée en contact avec la tête prenne un certain temps. Tout comme précédemment, les résultats indiquent que cette distance n'est pas représentative du comportement du casque.

Nous avons finalement fait des essais avec les plaques placées à 6 mm de distance de la fausse tête. C'est la distance qui donne des résultats se rapprochant le plus ce ceux du casque. Par exemple, à 300 m/s, nous mesurons un niveau crête de 351 N pour la plaque P10-322 et de 345 N pour le casque S7285. De même, pour les autres zones de contact, nous observons des résultats similaires à ceux du casque. Cependant, à 325 m/s, nous avons obtenu une force crête de 490 N pour la plaque P08-320 et de 130 N pour le casque S7262. Il est à noter que trois casques ont été testés autour de 325 m/s et les résultats pour les trois essais sont comparables et nettement inférieurs à ceux des essais des casques à 300 m/s et à ceux des plaques à 300 et 325 m/s. Il est difficile de trouver une explication logique à ces résultats sur les casques. Nous avons d'abord pensé que le projectile avait migré entre les plis et à l'extérieur de la zone de mesure avant le contact sur la tête, ce qui peut expliquer une mesure plus faible. Pour vérifier cette possibilité, il serait intéressant de passer les plaques et les casques aux rayons x après les essais afin de vérifier ou se trouve le projectile comparé à son point d'impact. Bien que cela puisse être une partie de l'explication, puisque les trois essais ont donné des résultats comparables, il y a forcément une ou d'autres raisons. Une autre explication peut être un mauvais fonctionnement du capteur PVDF. En effet, les trois essais autour de 325 m/s ont été faits avec un capteur PVDF différent des autres essais. Nous avons constaté que le capteur s'était abîmé et il a été changé, mais il est possible que nous n'ayons pas vu les premiers signes qui nécessitent le changement du capteur. Puisque que le PVDF utilisé a été développé pour nos besoins, nous n'avions pas en main tous les critères qui nous indiquent à quel moment il faut changer le capteur. À 350 m/s, le niveau crête pour la plaque

P07-319 est de 528 N et de 669 N pour le casque S7298. Les autres zones donnent des résultats qui se rapprochent entre plaque et casque. Un autre point intéressant à comparer est la forme de l'onde pour le casque et pour la plaque. Dans les deux cas, on remarque une forme plutôt allongée, bien que le signal de la plaque ne soit pas aussi lisse. Le temps de contact est similaire dans les deux cas. Il existe cependant un décalage entre le début du signal du casque et celui de la plaque puisque la distance casque/tête est de 13 mm et celle plaque/tête 6 mm. Il est donc normal que le signal de la plaque débute avant celui du casque. Cet espacement est donc celui qui donne les meilleurs résultats comparatifs. Une fonction mathématique pourrait être utilisée pour corriger le décalage et l'amplitude. D'autres essais sont cependant nécessaires, surtout autour de 325 m/s. Les résultats sur les casques à cette vitesse sont incertains à cause du capteur qui semble avoir fait défaut.

## 4.2 Accélération de la tête, forces et moments du cou

L'accélération de la fausse tête est une mesure-clef dans l'étude du potentiel traumatique de la tête. Elle permet notamment de vérifier si le cerveau subit une onde de choc qui peut entraîner le rebondissement et, par conséquent, des lésions importantes de ce dernier. Il est donc essentiel de vérifier si les résultats mesurés par une plaque sont comparables à ceux mesurés par un casque de construction similaire.

Pour une plaque placée à 0 mm d'espacement de la tête, les résultats des accélérations sont beaucoup plus élevés et, en comparaison, les résultats du casque paraissent négligeables. Au niveau du cou, les forces ont une forme semblable, bien qu'elles soient déphasées. Les moments sont faibles, déphasés et ont peu de ressemblance. Tout comme pour le PVDF, l'espacement n'est pas adéquat.

Pour les plaques placées à 13 mm de la tête, les mesures sont quasi nulles et peuvent être confondues avec le bruit du signal, sauf pour la plaque P01-313. Pour les mêmes raisons que celles citées à la section 4.1, on n'a pas tenu compte des résultats. L'espacement n'est pas adéquat.

Pour les plaques espacées de 6 mm, les résultats montrent des profils très semblables, bien que souvent déphasés. La plaque P10-322 (fig. 11) est particulièrement intéressante du point de vue de la ressemblance. D'autres tests devraient être effectués pour vérifier s'il est possible de développer une fonction de transfert entre une plaque et un casque. Il faudrait cependant s'assurer que cette fonction ne sera pas propre à un type de casque, mais bien assez générale pour guider les essais futurs sur différents types de matériaux.

Il est important de noter que les essais ont tous étés effectués selon les recommandations pour l'utilisation du mannequin hybride III, puisque c'étaient les seules recommandations disponibles à ce moment. Or, ce mannequin a été développé pour les besoins de l'industrie automobile. Les critères pour les potentiels traumatiques sont donc liés au type d'impact et la filtration choisie (soit CFC 1000) et sont adéquats pour ce type d'impact. Une récente étude américaine (réf. 9) montre que cette classe de filtration n'est peut-être pas appropriée pour le cas étudié. Tel que montré à la figure 12, on constate que le spectre de fréquence montre une signature importante au-delà de 40 kHz. Cette constatation a une importance majeure pour

l'établissement d'une fonction de transfert entre les résultats mesurés sur la fausse tête et le traumatisme subi par un individu. Il serait donc préférable que les études subséquentes tiennent compte des résultats obtenus et que la filtration soit modifiée en conséquence.

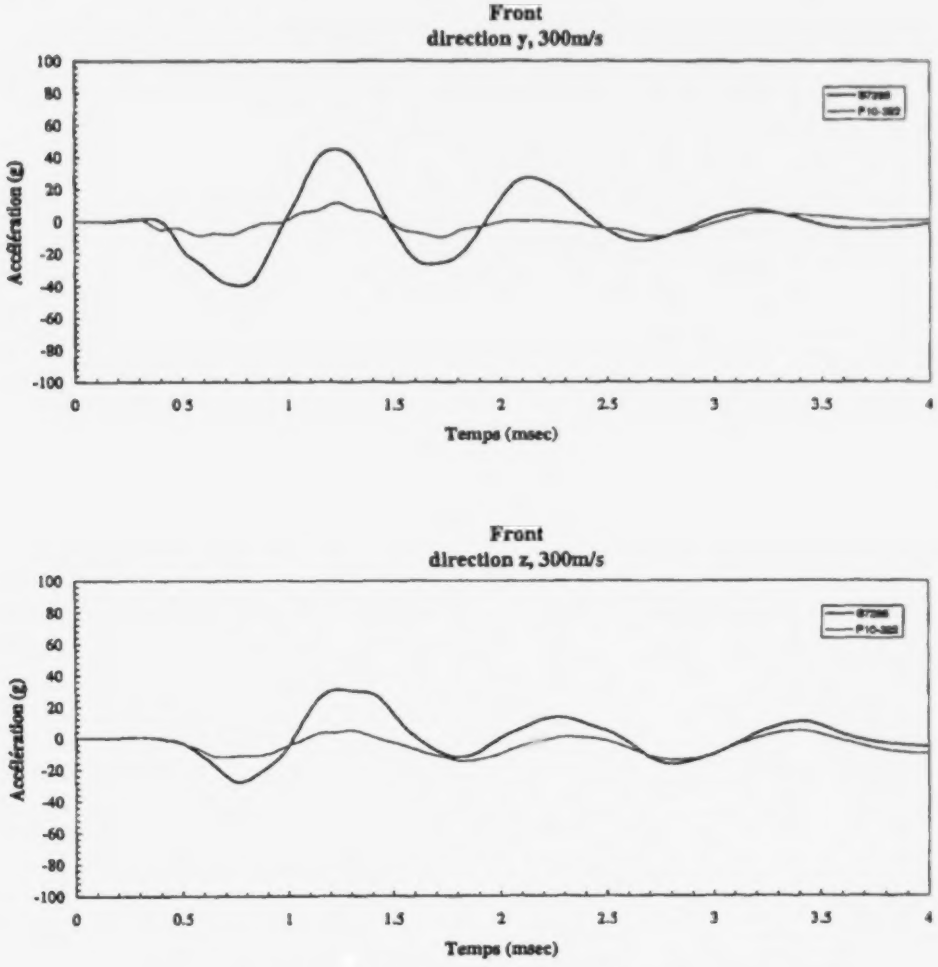



Figure 11. Résultats pour comparaison plaque P10-322 et casque S7285

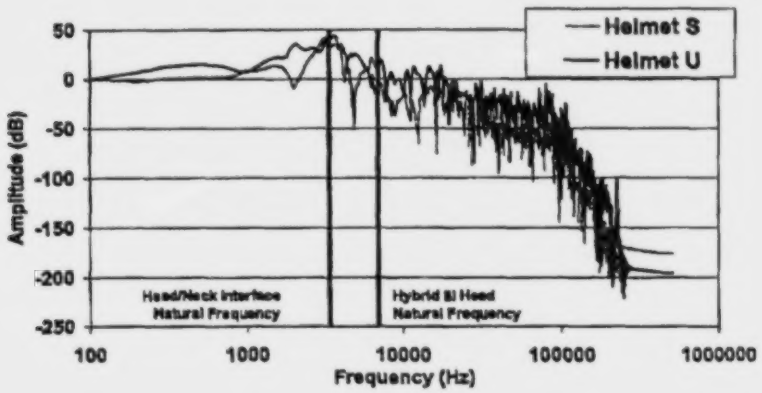



Figure 12. Spectre en fréquence lors d'impact balistique sur tête instrumentée

Il serait intéressant de modifier la fabrication des plaques pour les rapprocher de la structure d'un casque. En effet, les plis des casques sont souvent coupés en forme de marguerite pour permettre le moulage de la forme arrondie. Cela génère des défauts importants dans le casque qui ont un effet sur sa réponse à l'impact. Il serait donc intéressant de couper volontairement les plis avant le moulage des plaques. Il faudrait cependant déplacer les lignes de coupe d'un pli à un autre afin d'éviter que les coupures ne se retrouvent toutes empilées en ligne. À noter que lors de la mise en place des plis au moulage des casques, cette procédure est également suivie.

Il est aussi intéressant de se demander si la résine n'intervient pas différemment durant l'impact du projectile sur les échantillons. En effet, bien que la plaque et le casque aient été fabriqués selon les mêmes spécifications techniques, la géométrie peut influencer le comportement des composants des échantillons. La plaque étant plane, les brins sont rapidement sollicités en tension durant la déformation. Cependant, la forme arrondie du casque permet la déformation avant la mise sous tension des plis. Ce qui peut vouloir dire que, durant la première partie de l'impact, la résine joue un rôle dominant. On peut donc se demander comment il faudrait modifier la fabrication des plaques pour tenir compte de cet élément. On peut, par exemple, augmenter le pourcentage de résine de la plaque. Cependant, puisque la plaque est positionnée plus près de la tête, la période de déformation du casque est peut-être ainsi compensée et il est alors préférable de ne pas en tenir compte.

Finalement, lorsque le design de la plaque sera optimisé, il se peut que l'amplitude des résultats reste différente. De plus, le déphasage sera toujours présent en raison de l'espacement différent. Il faudra donc bâtir une fonction mathématique qui permettra de raffiner les résultats et de rendre la similitude plus grande avec les résultats des casques.

# 5 Conclusion

Cette étude a permis de démontrer que le remplacement des casques par des plaques est possible pour vérifier les effets terminaux de la tête protégée, lorsque celle-ci est soumise à des impacts de munitions de petit calibre. Certains paramètres d'essais doivent être raffinés pour améliorer la ressemblance dans les résultats et faciliter leur comparaison. Il faudra entre autres,

- Optimiser la méthode de fabrication des plaques de façon à reproduire certains défauts qui influencent la réponse de la tête hybride, notamment les coupures dans les plis.
- Établir les paramètres de contrôle des capteurs PVDF pour assurer la bonne réponse et la validité des résultats.
- Prévoir un examen par rayons x à la fin des essais pour vérifier la migration du projectile durant le processus d'impact. Une méthode plus précise serait de prévoir un montage avec un système de rayons x éclairs. Cette méthode permettrait notamment de vérifier que la migration a lieu à l'impact et non au rebond après avoir heurté la tête.
- Établir une fonction mathématique pour corriger certains paramètres d'essais qui sont pourtant nécessaires pour obtenir une similitude de la réponse de la tête. À titre d'exemple, la présente étude a montré qu'il est nécessaire de placer la plaque à une distance inférieure à celle d'un casque par rapport à la tête pour obtenir une amplitude comparable. Cela entraîne cependant un déphasage dans les résultats qui peut être corrigé par une fonction de transfert mathématique.

# 6 Références


1. BOLDUC, M., Tylko, S., "Evaluation of Combat Helmets against a 9-mm Bullet Using a Modified Hybrid III Headform", DREV-TR-2000-190, November 2000, Unclassified

2. BOLDUC, M., Tylko, S. "Hybrid III Head Response to Undefeated Combat Helmet in a Ballistic Environment", PASS Symposium, Colchester UK, Sept. 1998

3. MIL-H-44099A. "Military Specification, Helmet, Ground Troops and Parachutists", February 1989.

4. BOLDUC, M. Tylko, S., Gibson, S., Fournier, E., Worswick, M., Hoof, J.V., "Exploration of the Helmeted Head Response to Ballistic Impact", Defence Research Group, Panel 8, Specialist Teams on Body Armor and Associated Subjects, San Diego April 1996.

5. TYLKO, S. Gibson, S., Fournier, E., Bolduc, M. "Development of Design Criteria for use in Ballistic Head Protection", PASS Symposium, Colchester UK, September 1996.

6. TYLKO, S. Bolduc, M., Fowler, J. Fournier, E. "Surrogate Head and Neck Response to Non-Penetrating Ballistic Impacts", International Soldier System Conference, Colchester UK, September 1997.

7. BOLDUC, M. "Head Response to Undefeated Personal Armor". NATO Specialist Teams on Rear Effects of Protection and Non Lethal Kinetic Weapons, Panel 8, December 1997.

8. SAE J211/1. " Instrumentation for Impact Test-Part 1-Electronic Instrumentation". Safety Test Instrumentation Standards Committee. March 1995

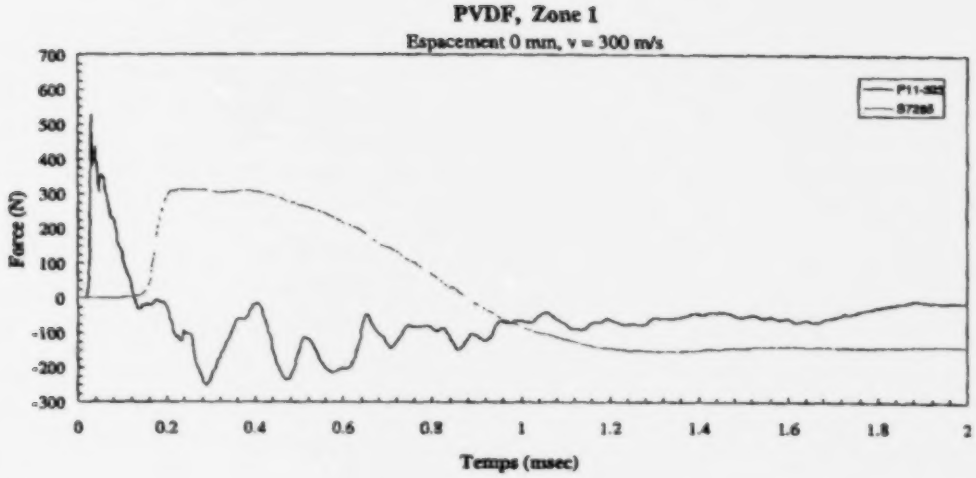
9. BASS, C.R., Boggess, B. and Bush, B., "Ballistic Helmet Backface Deformation Testing With a Dummy Subject", PASS Symposium, Colchester UK, September 2000.

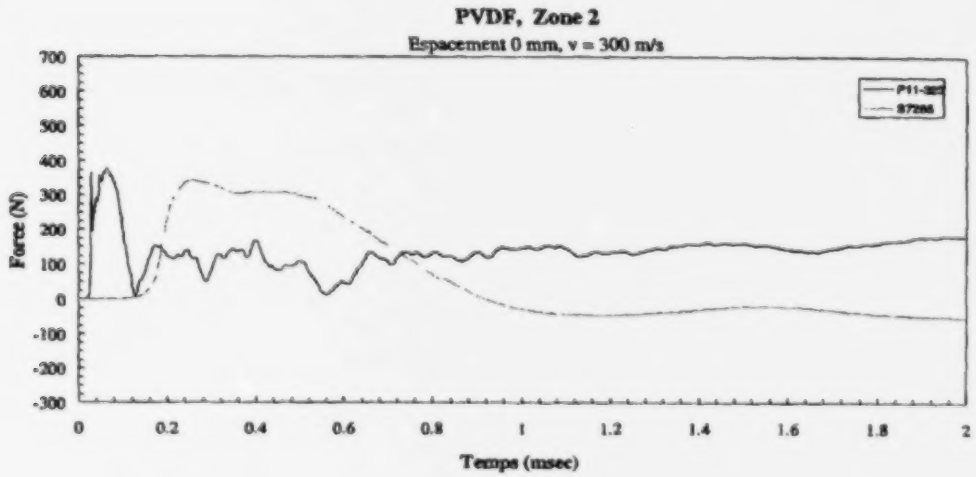
# Annexes A

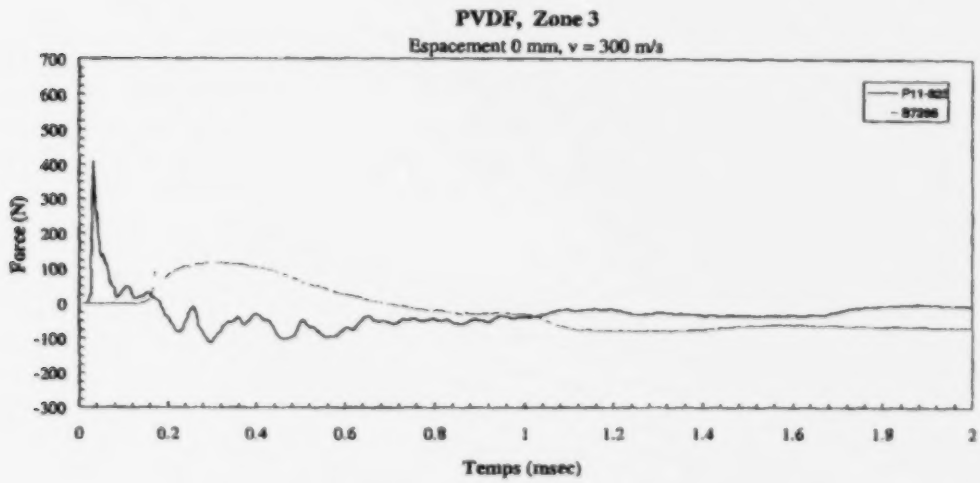
Les figures qui suivent montrent la comparaison des résultats pour les forces de contacts , les accélérations, les forces et moments au cou. Les graphiques pour une plaque et un casque sont superposés. Le choix de la plaque et du casque a été fait selon la vitesse mesurée à l'impact. Les forces de contact sont comparées selon la zone du capteur PVDF. Les accélérations sont filtrées selon les recommandations pour l'utilisation de mannequin anthropomorphique puis comparées selon la position des instruments de mesure dans la tête instrumentée.

*Liste des graphiques – comparaison plaques/casques*

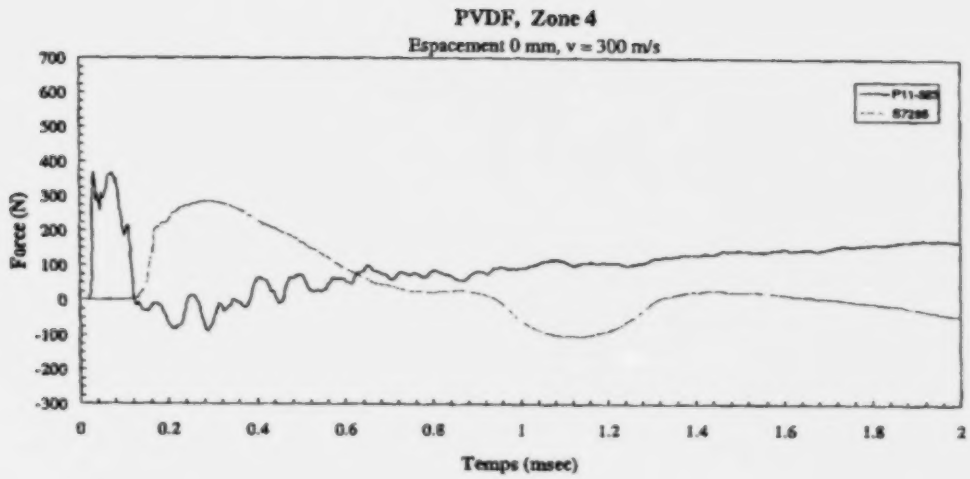
| Échantillons | Vitesse<br>m/s | Espacement<br>mm |
|---|---|---|
| S7285 + P11-323 | 300 | 0 |
| S7285 + P10-322 | 300 | 6 |
| S7262 + P08-320 | 325 | 6 |
| S7298 + P07-319 | 350 | 6 |

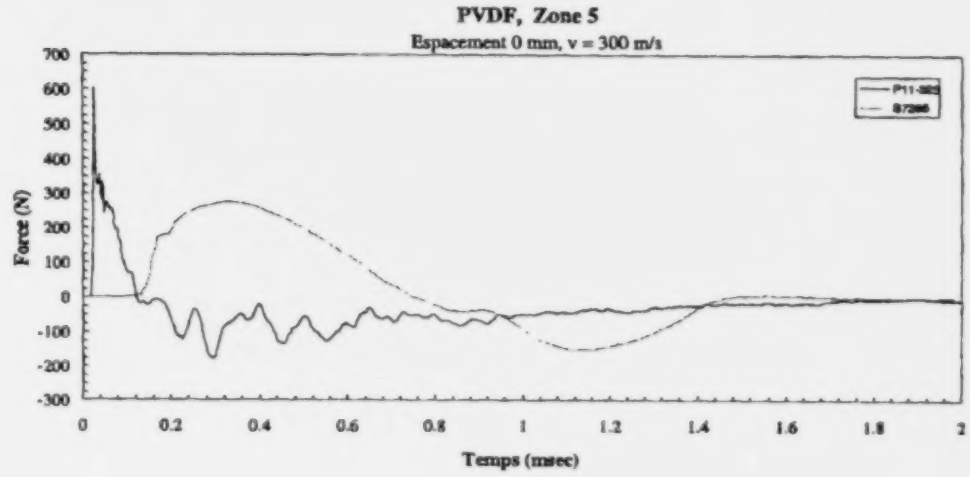


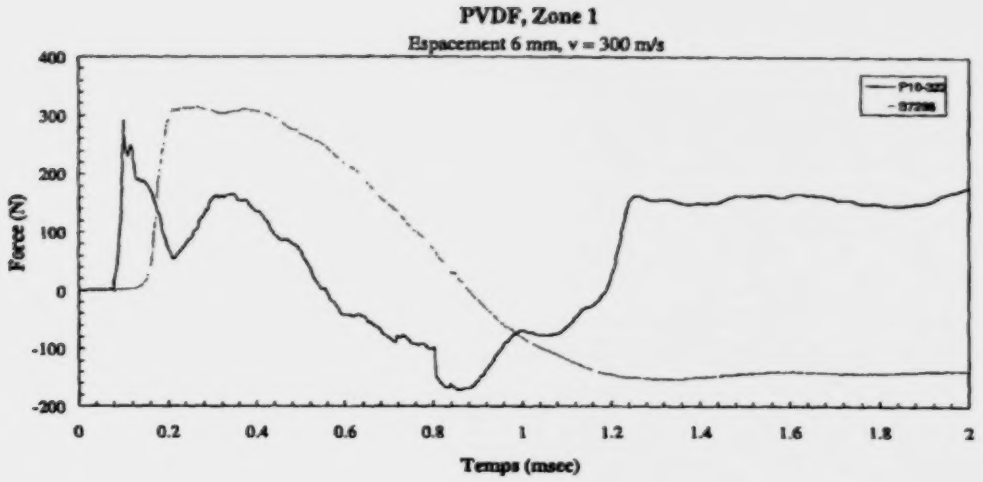



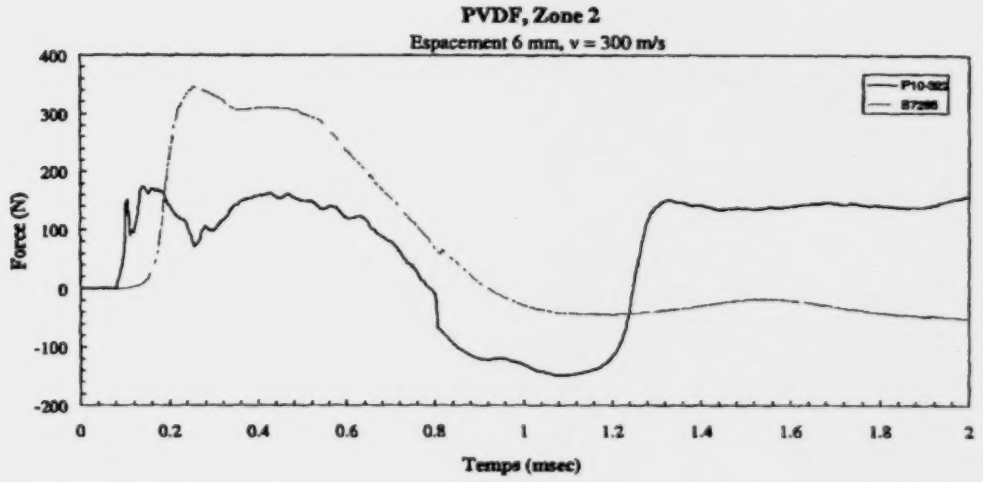

Comparaison casque S7285 avec plaque P11-323

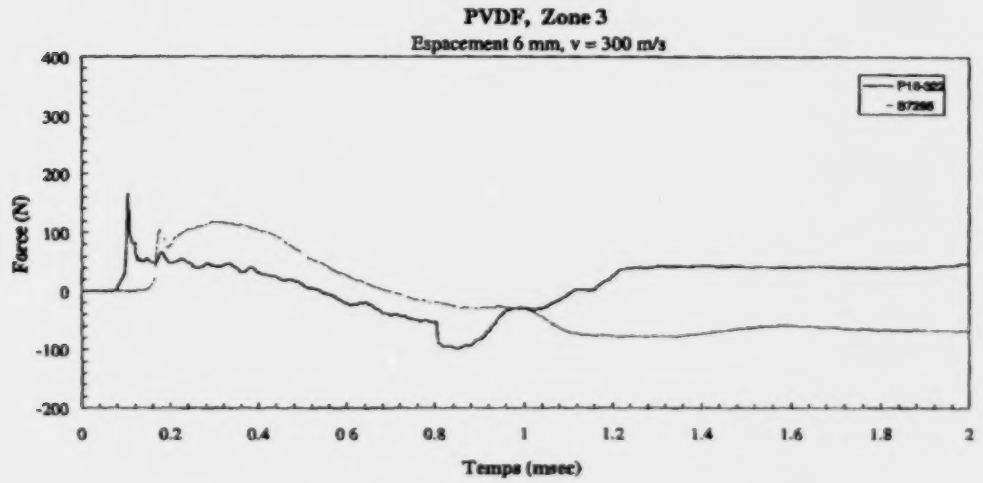


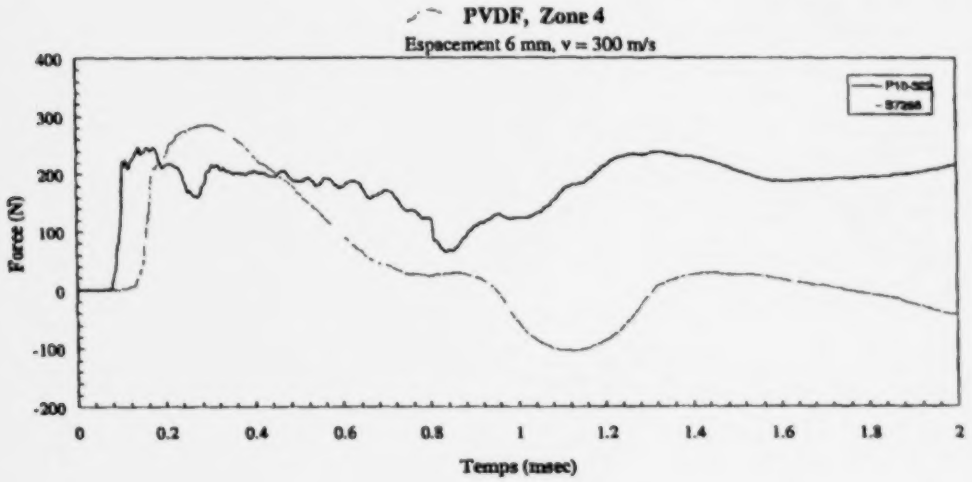

Comparaison casque S7285 avec plaque P11-323

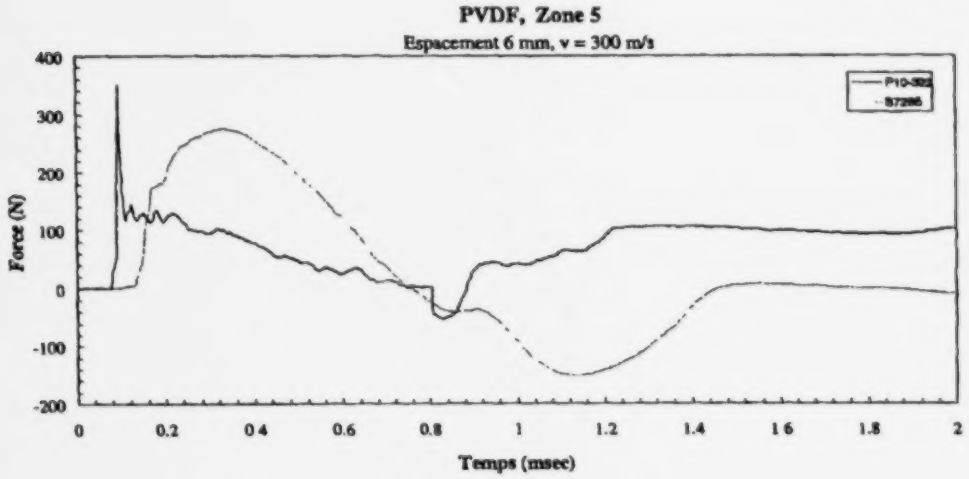


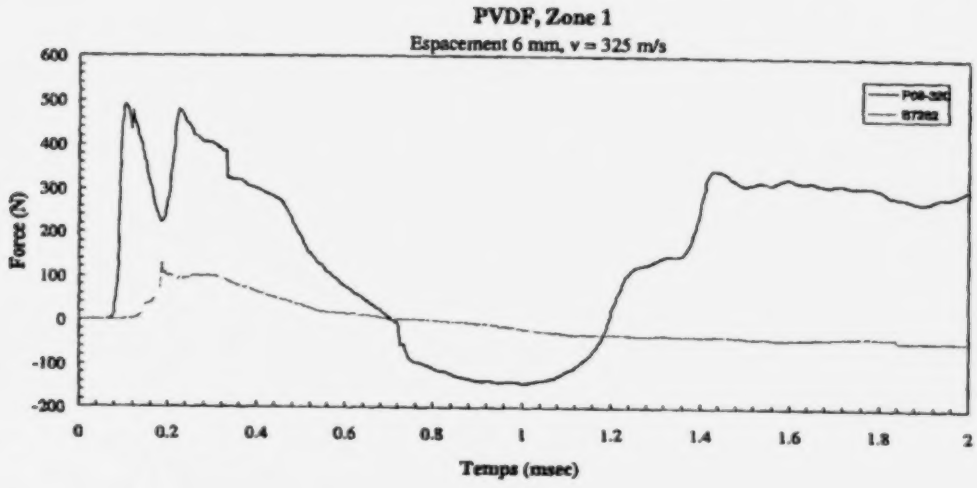



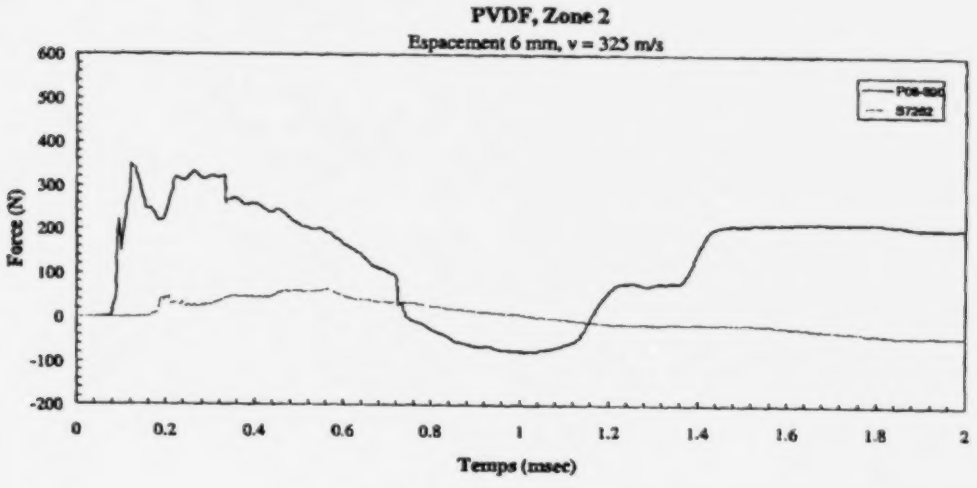

Comparaison casque S7285 avec plaque P10-322

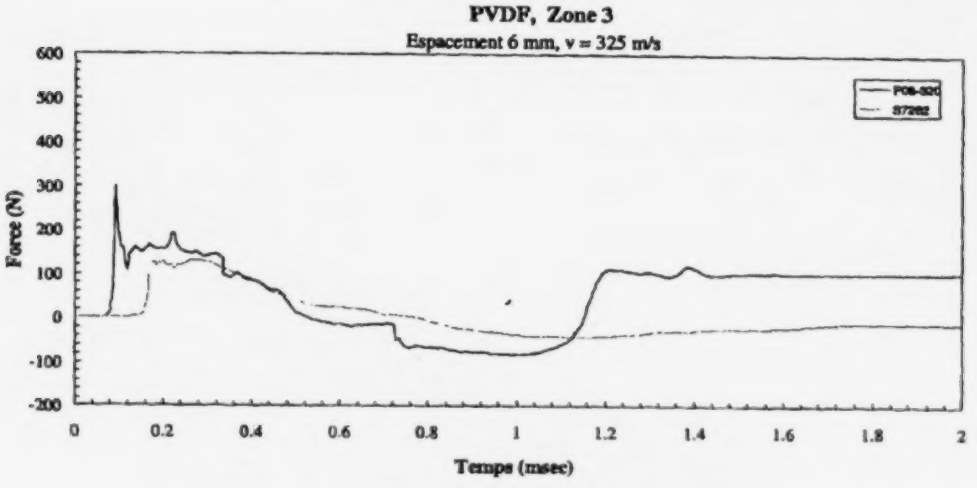


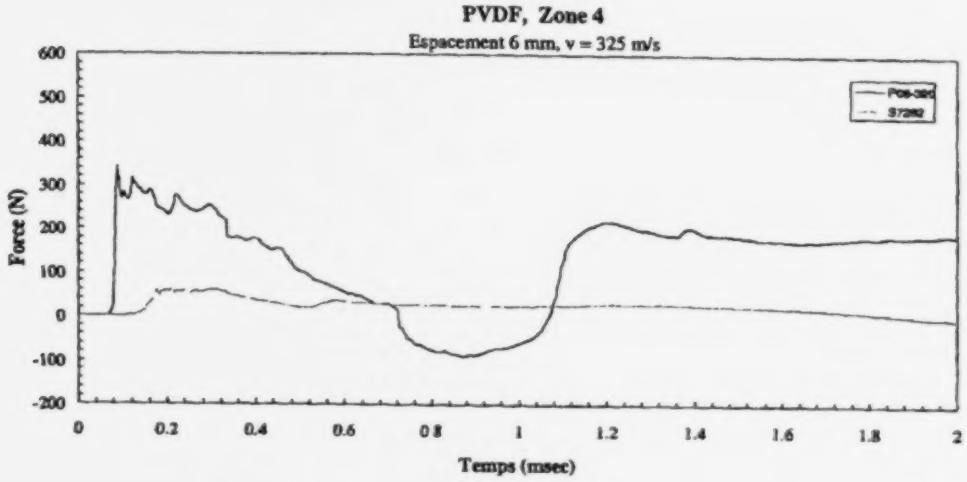

Comparaison casque S7285 avec plaque P10-322

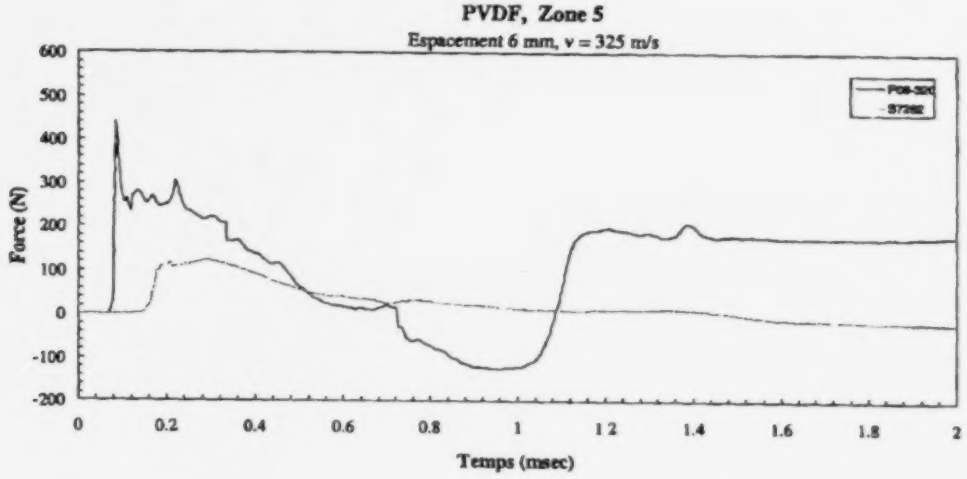


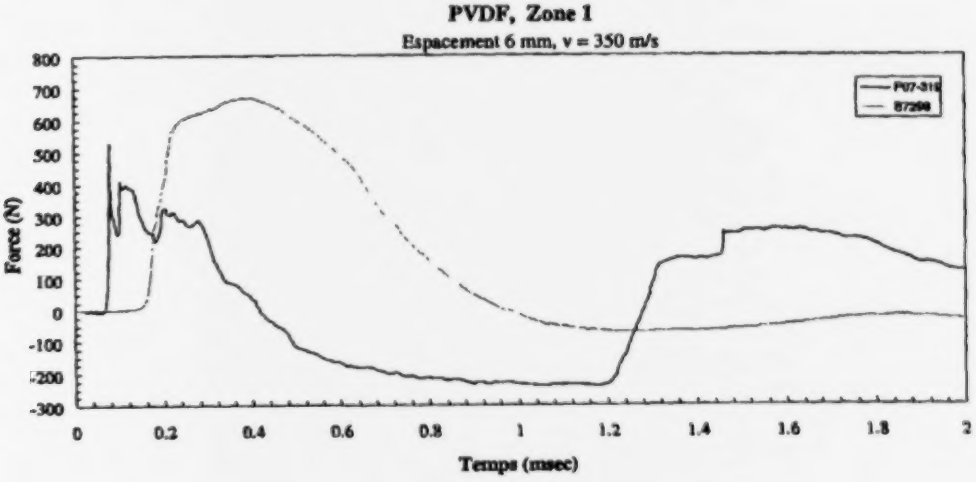



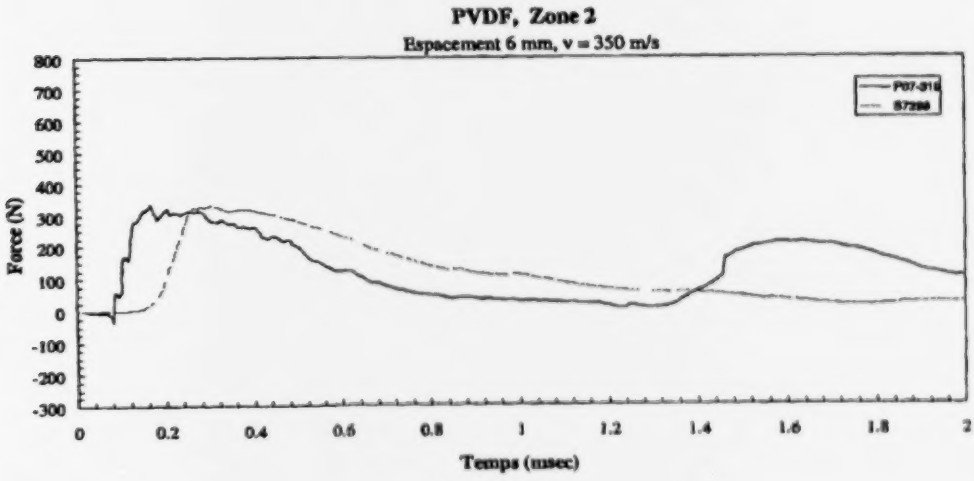

Comparaison casque S7262 avec plaque P08-320

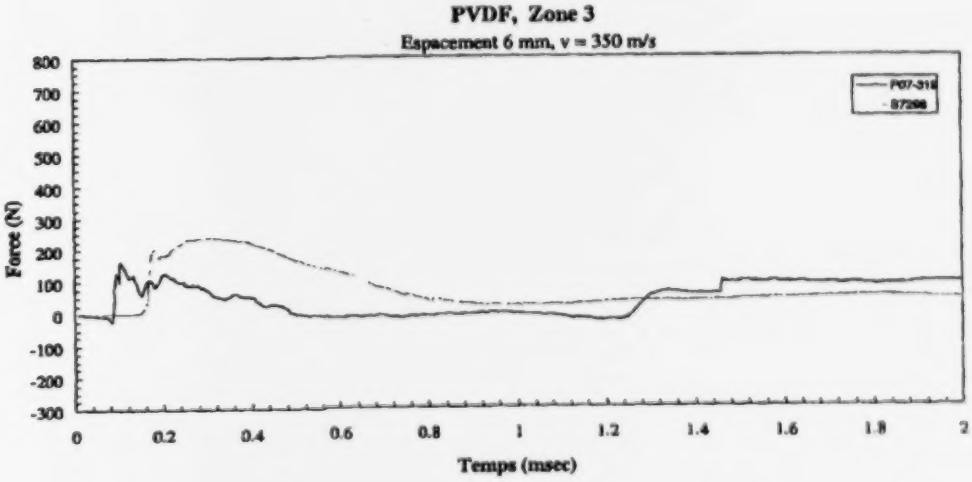


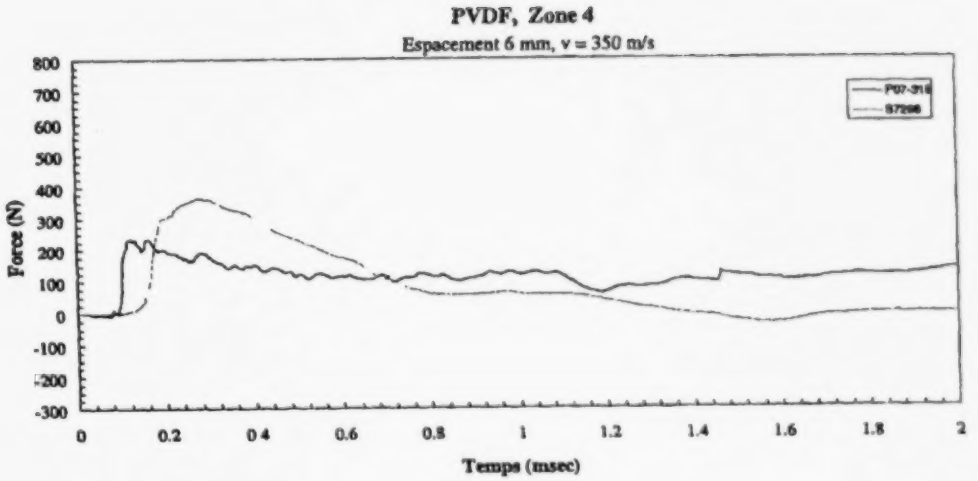

Comparaison casque S7262 avec plaque P08-320

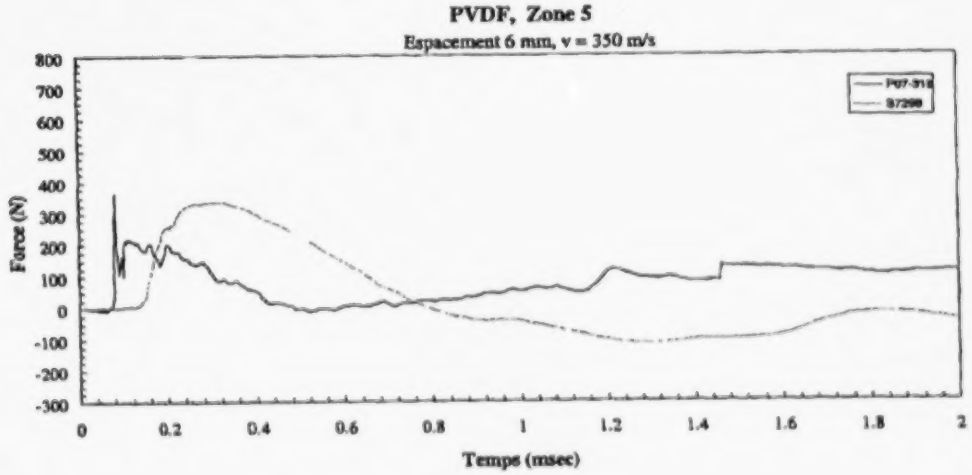


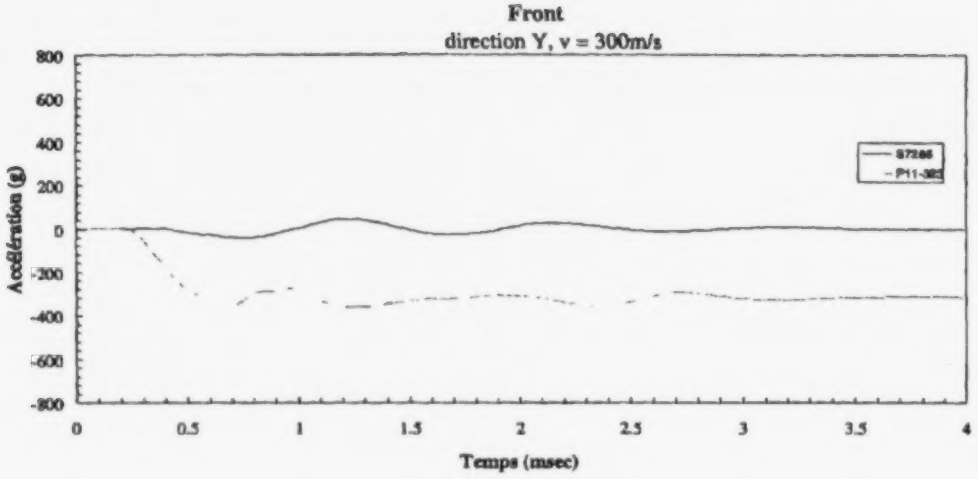



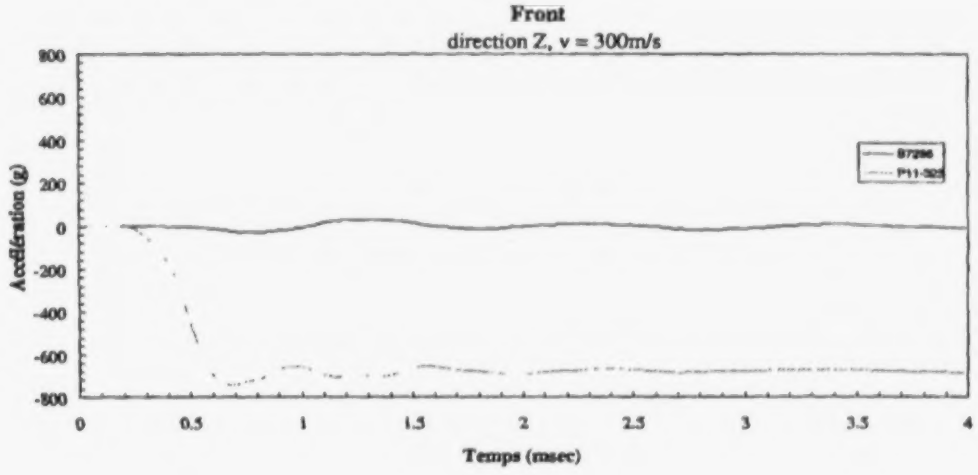

Comparaison casque S7298 avec plaque P07-319



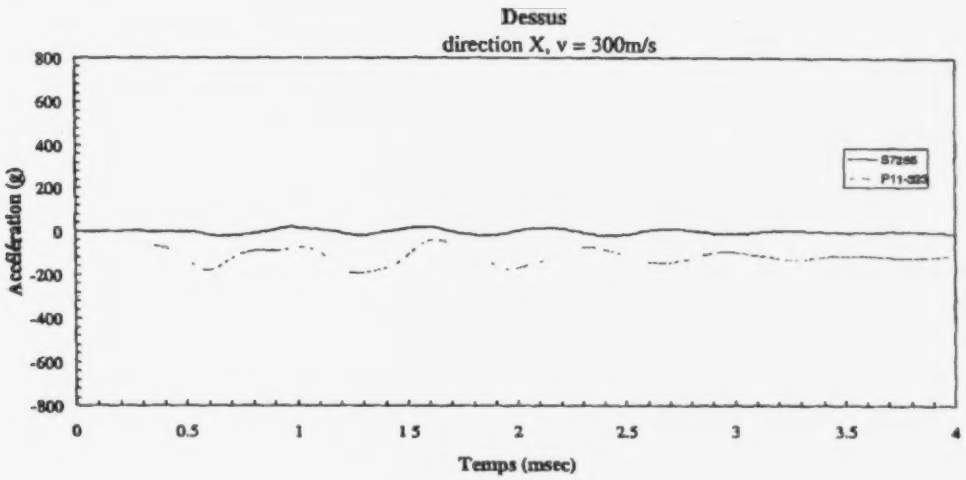



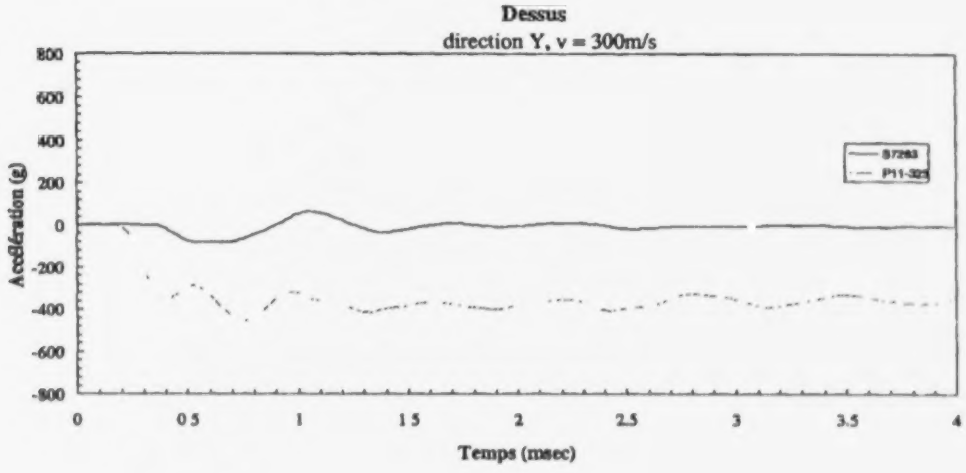

Comparaison casque S7298 avec plaque P07-319



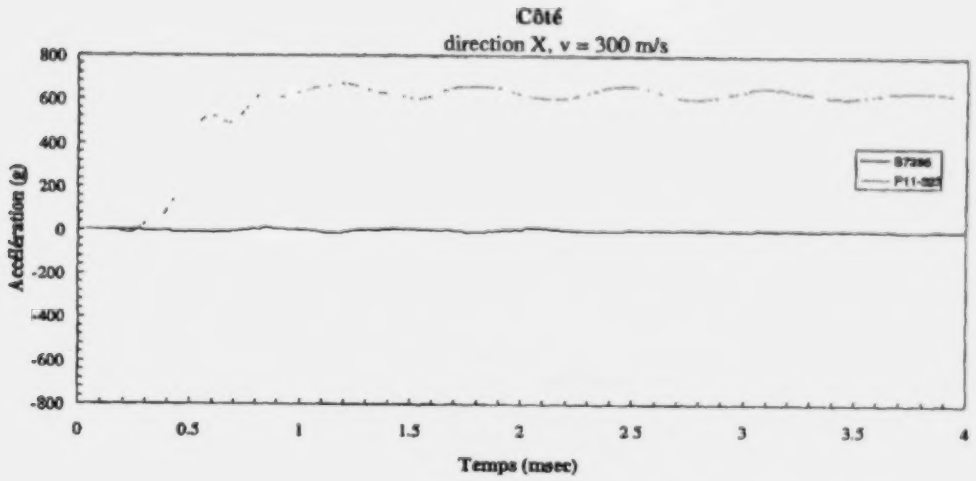



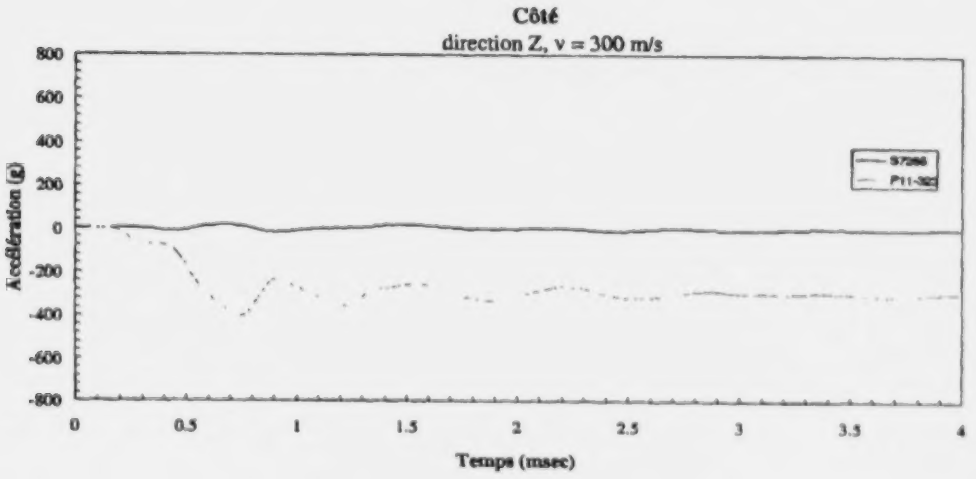

Comparaison casque S7285 avec plaque P11-323



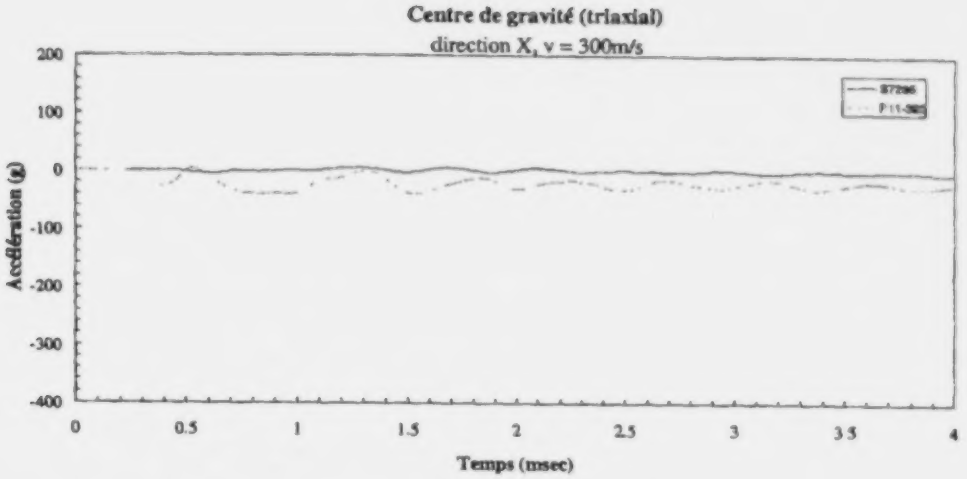



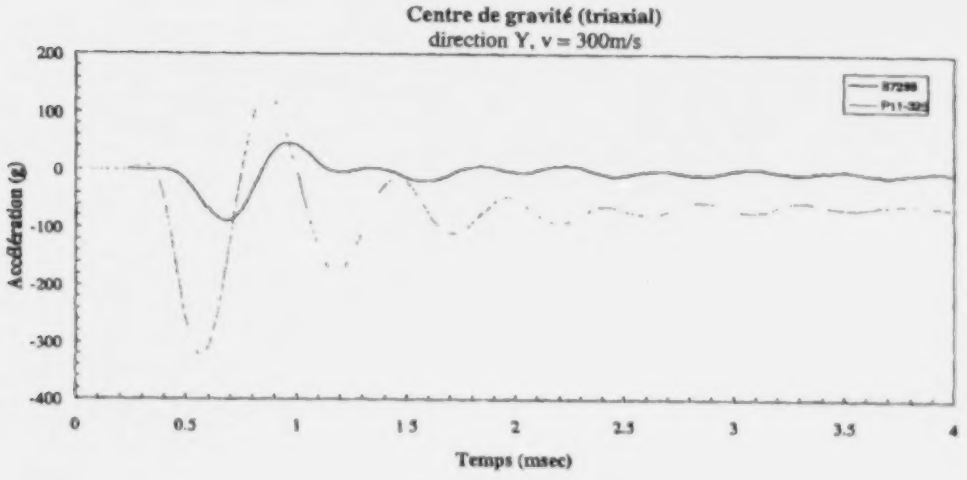

Comparaison casque S7285 avec plaque P11-323

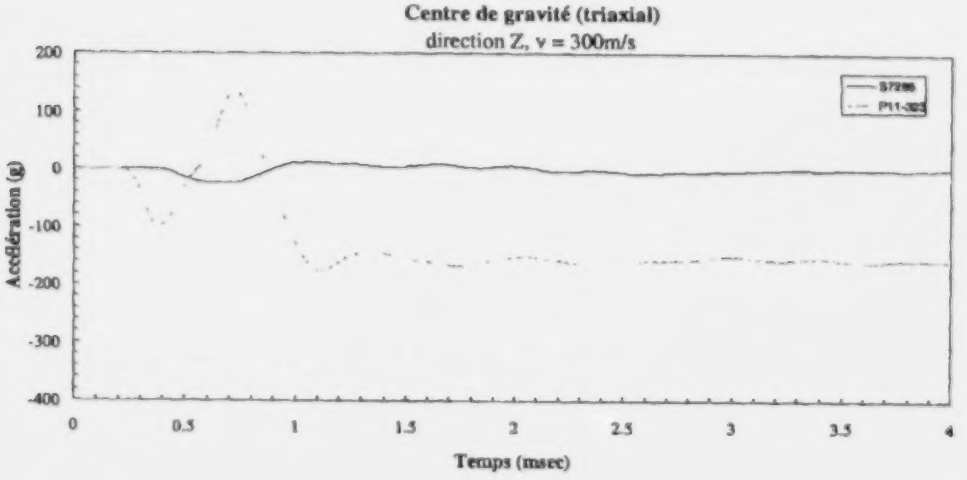


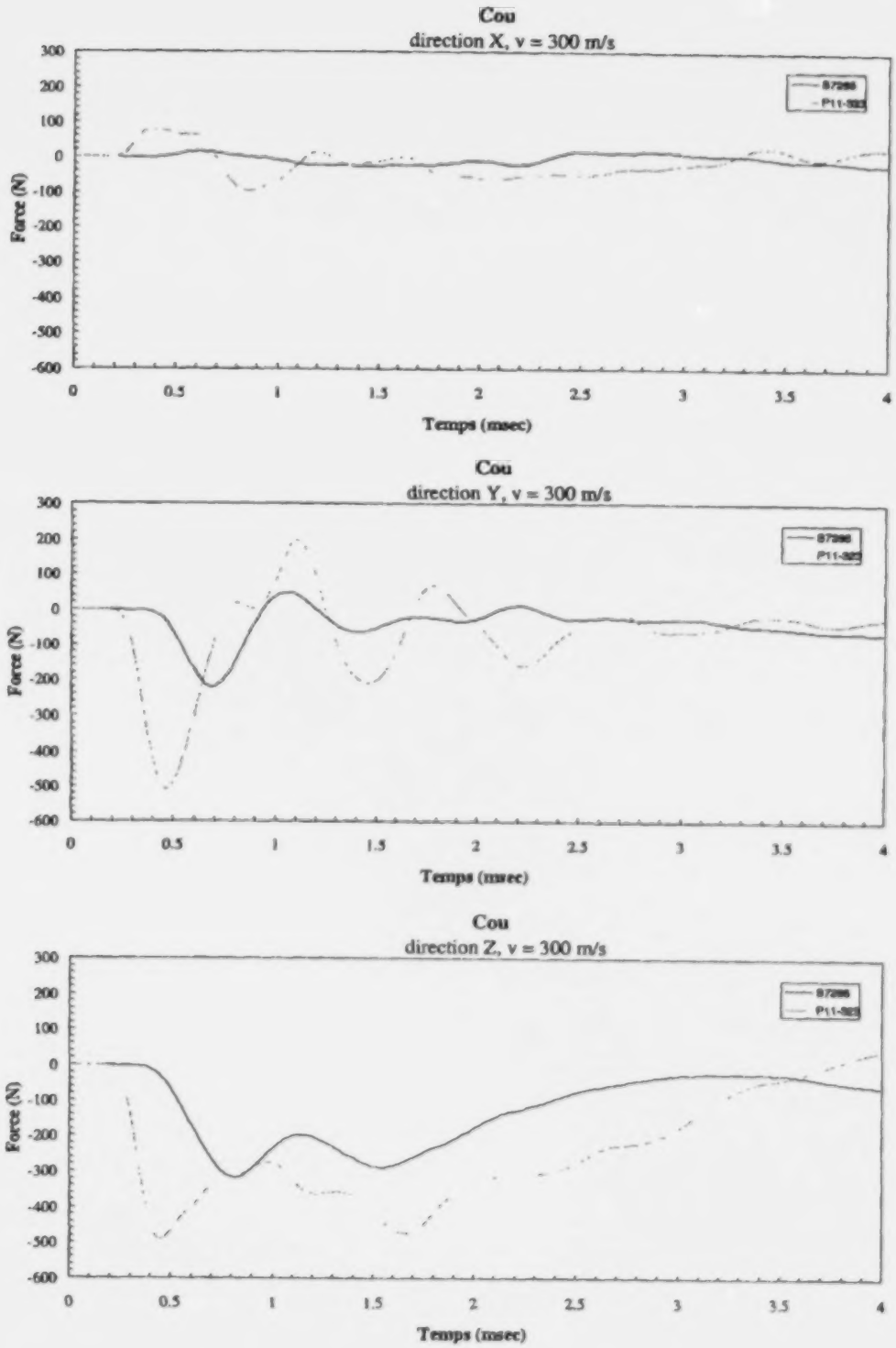

Comparaison casque S7285 avec plaque P11-323



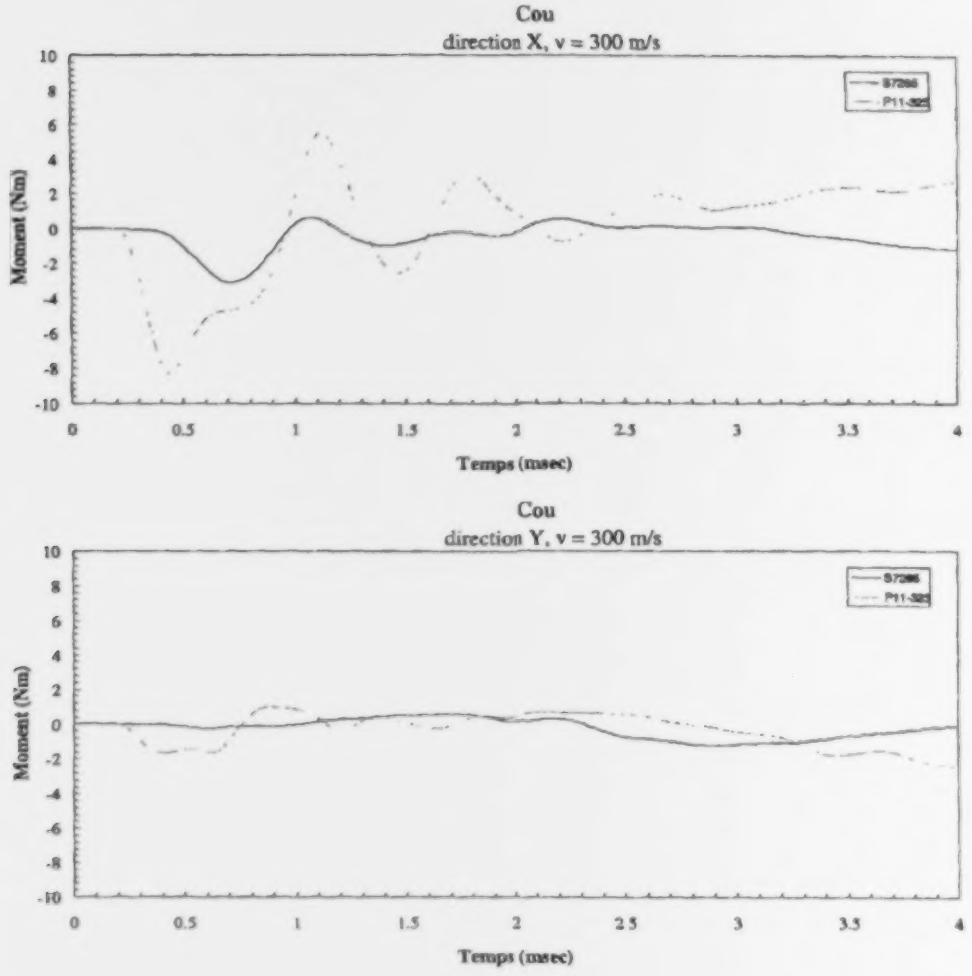



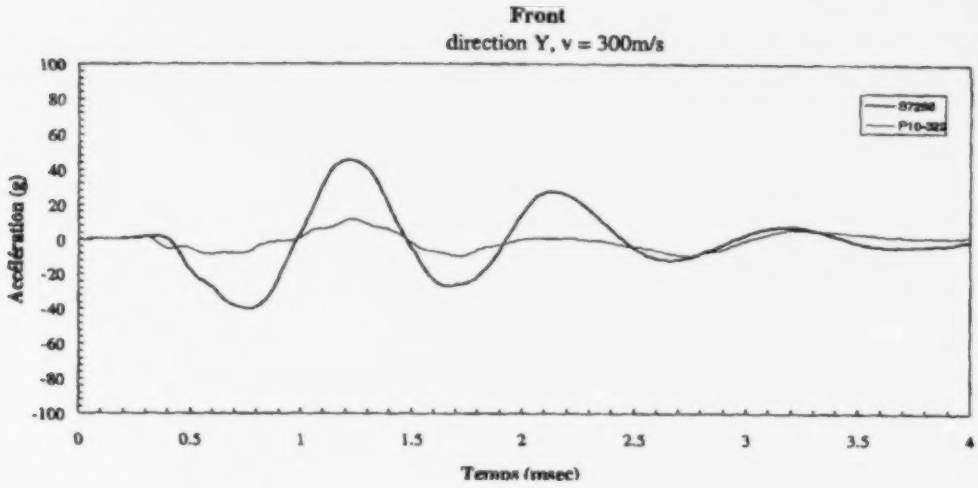

Comparaison casque S7285 avec plaque P11-323

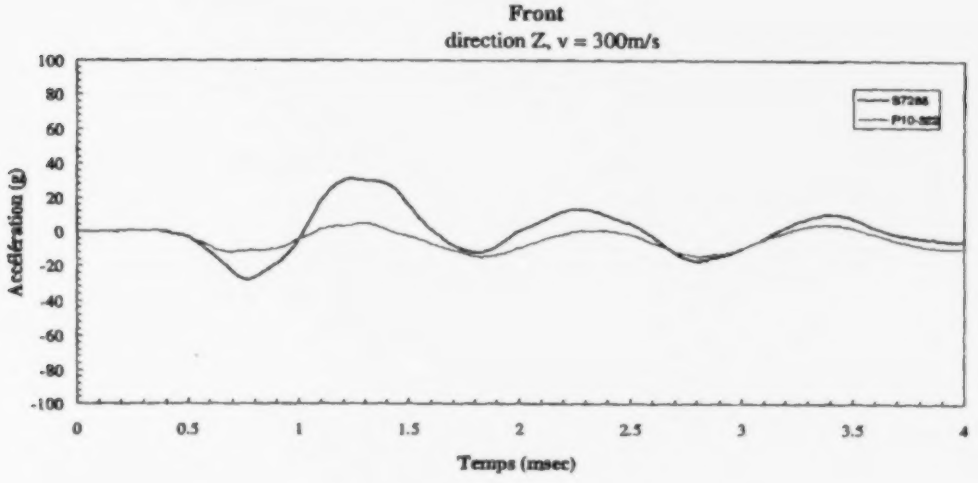



Comparaison casque S7285 avec plaque P11-323

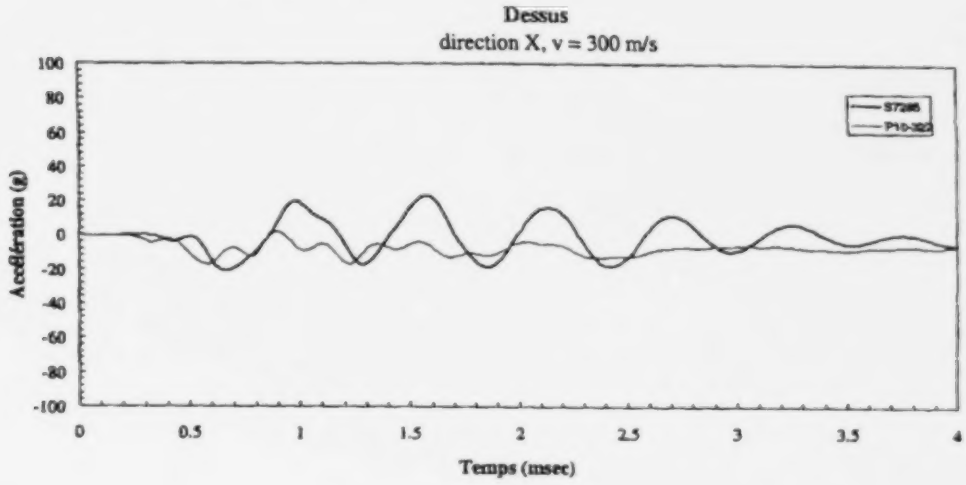


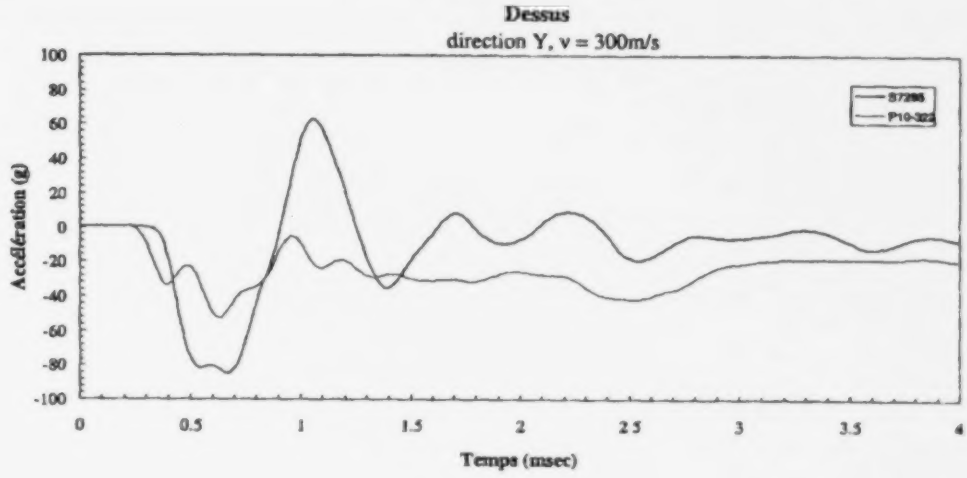

Comparaison casque S7285 avec plaque P11-323



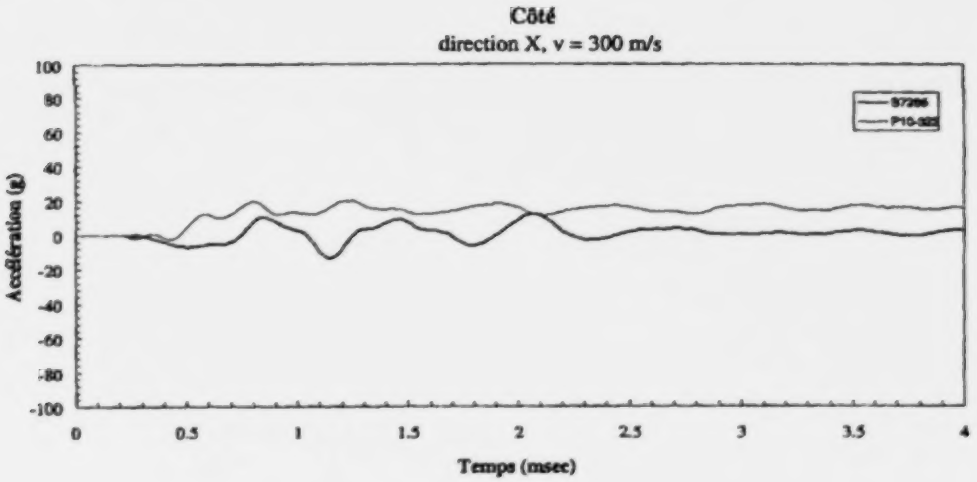



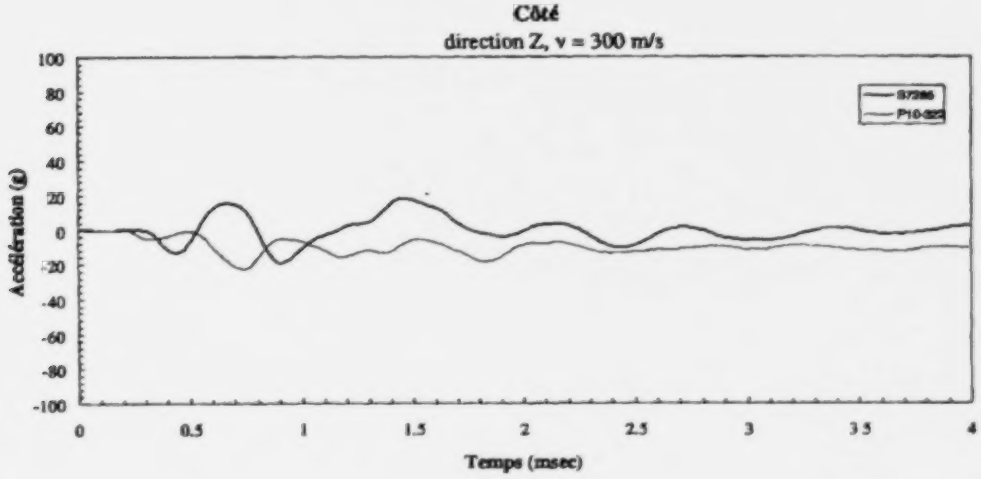

Comparaison casque S7285 avec plaque P10-322



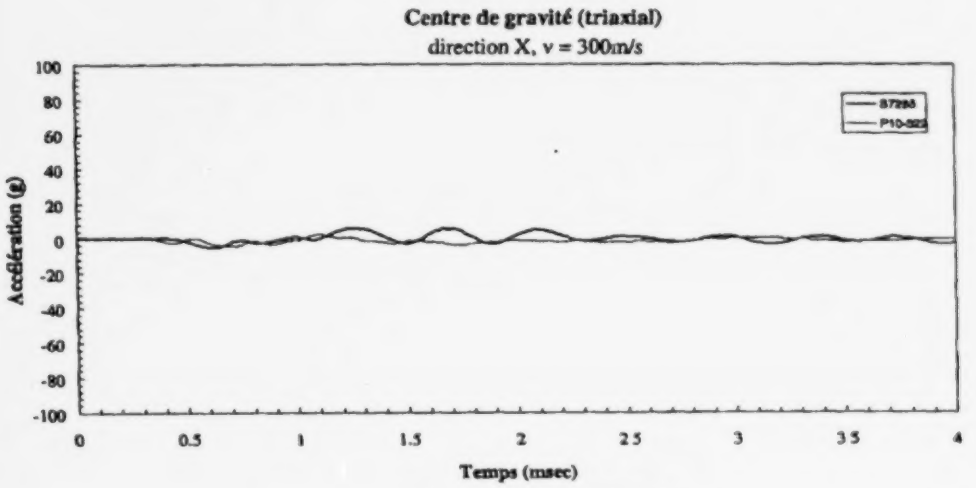



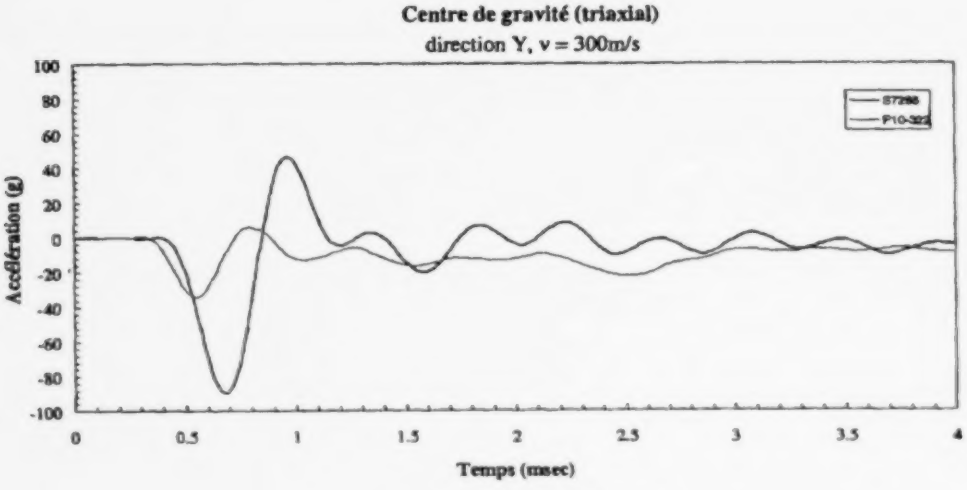

Comparaison casque S7285 avec plaque P10-322

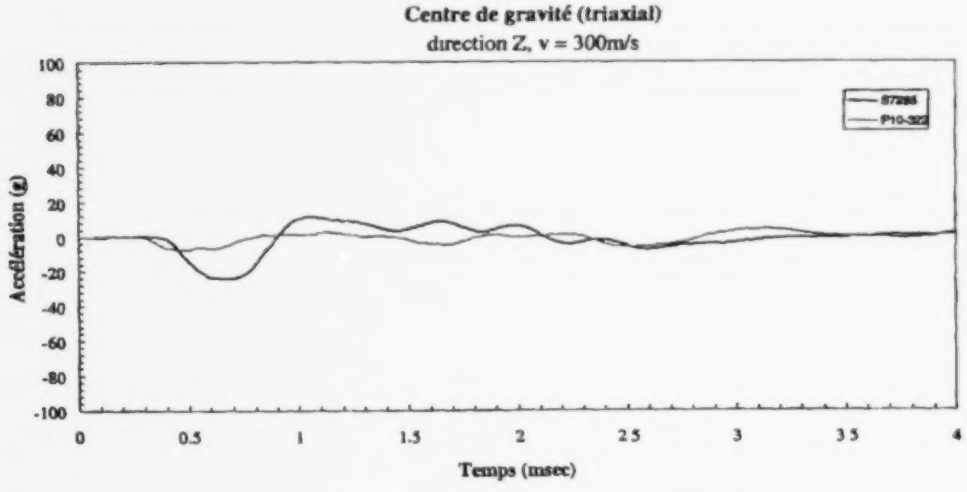


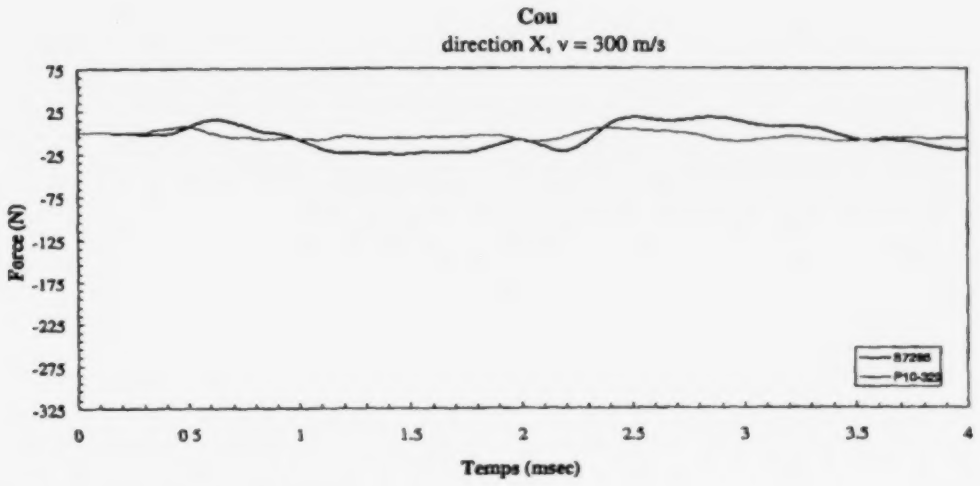

Comparaison casque S7285 avec plaque P10-322

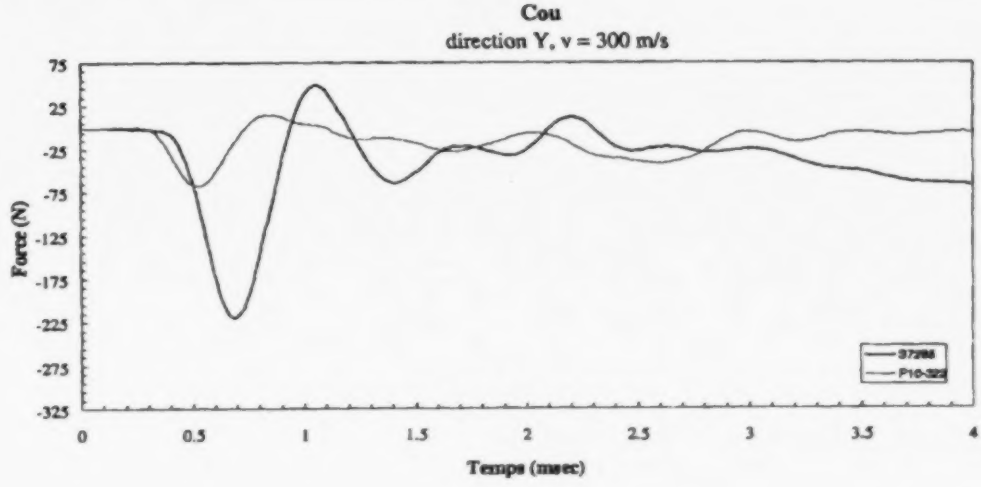


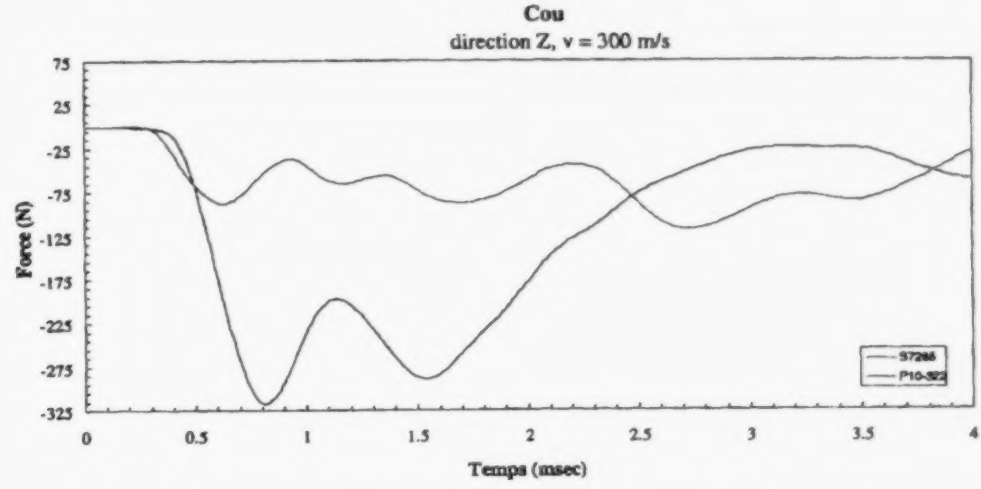



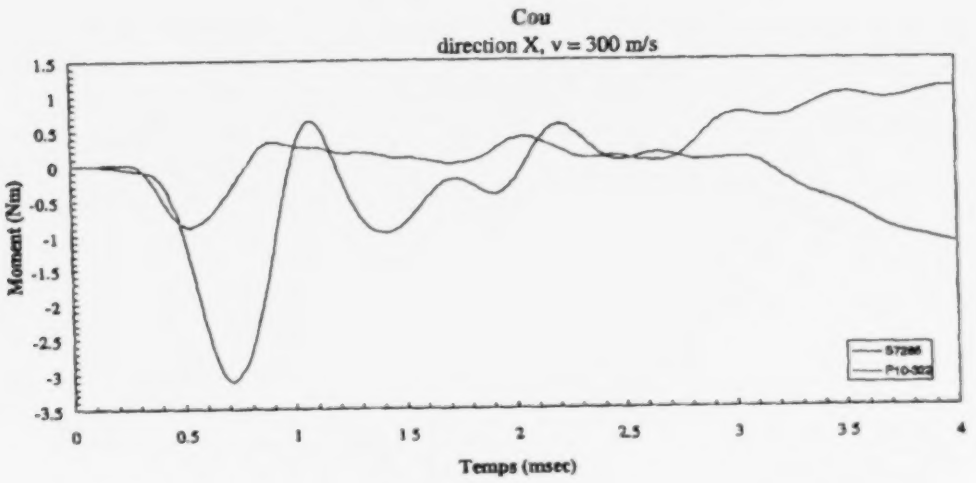

Comparaison casque S7285 avec plaque P10-322

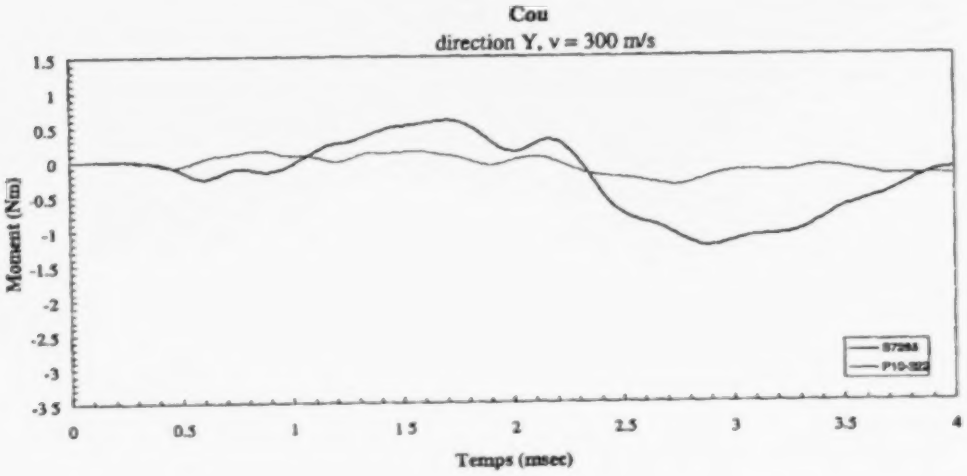


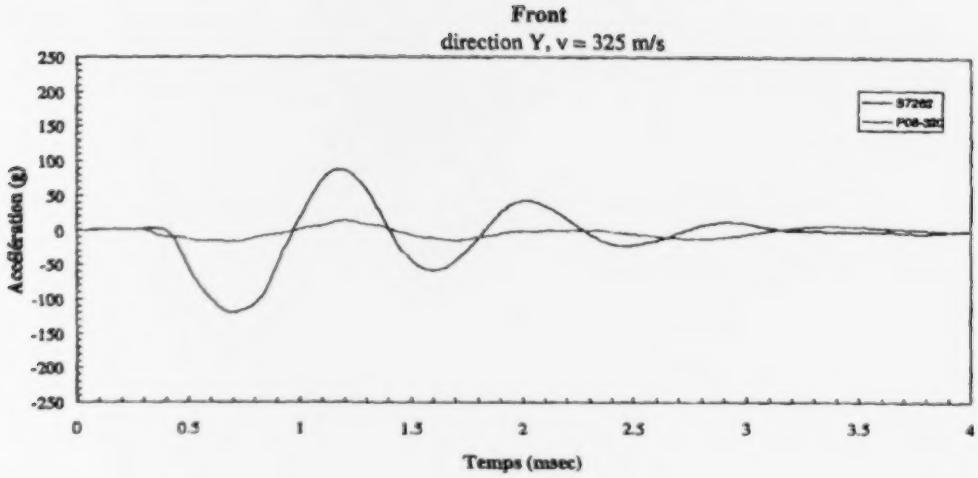



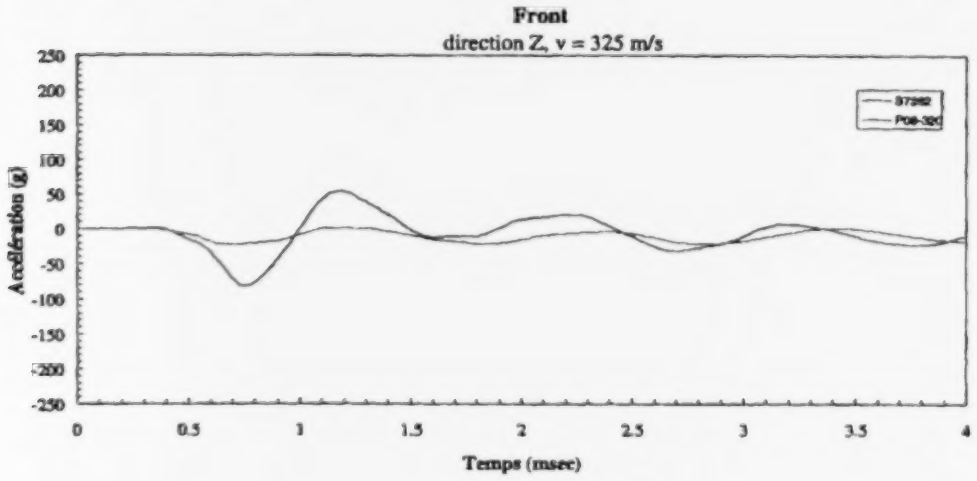

Comparaison casque S7285 avec plaque P10-322



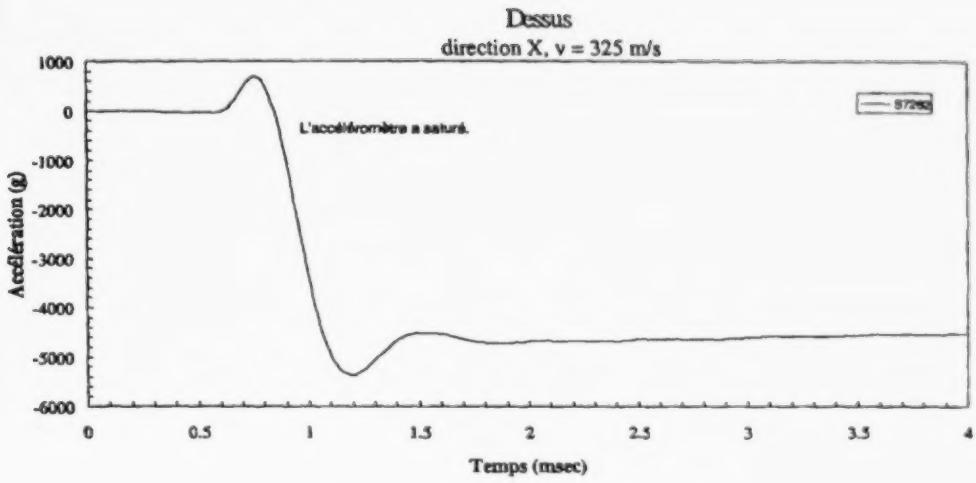



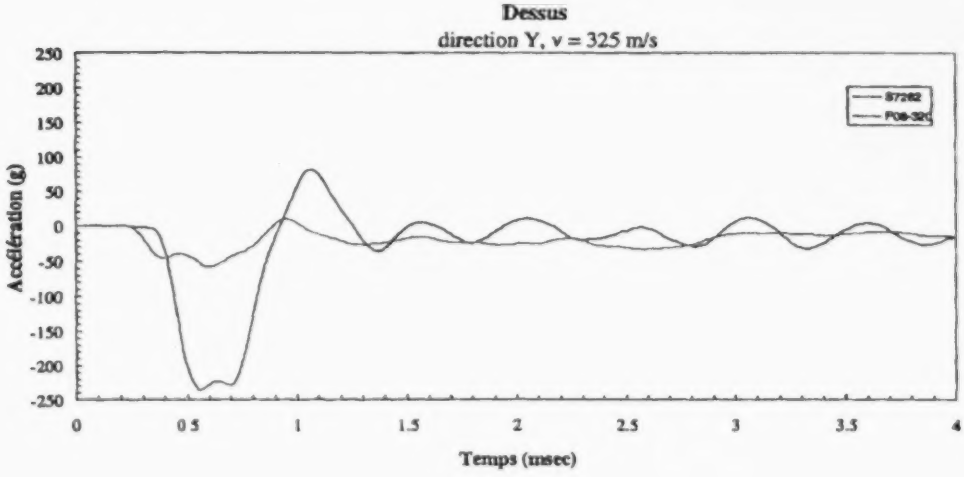

Comparaison casque S7285 avec plaque P10-322



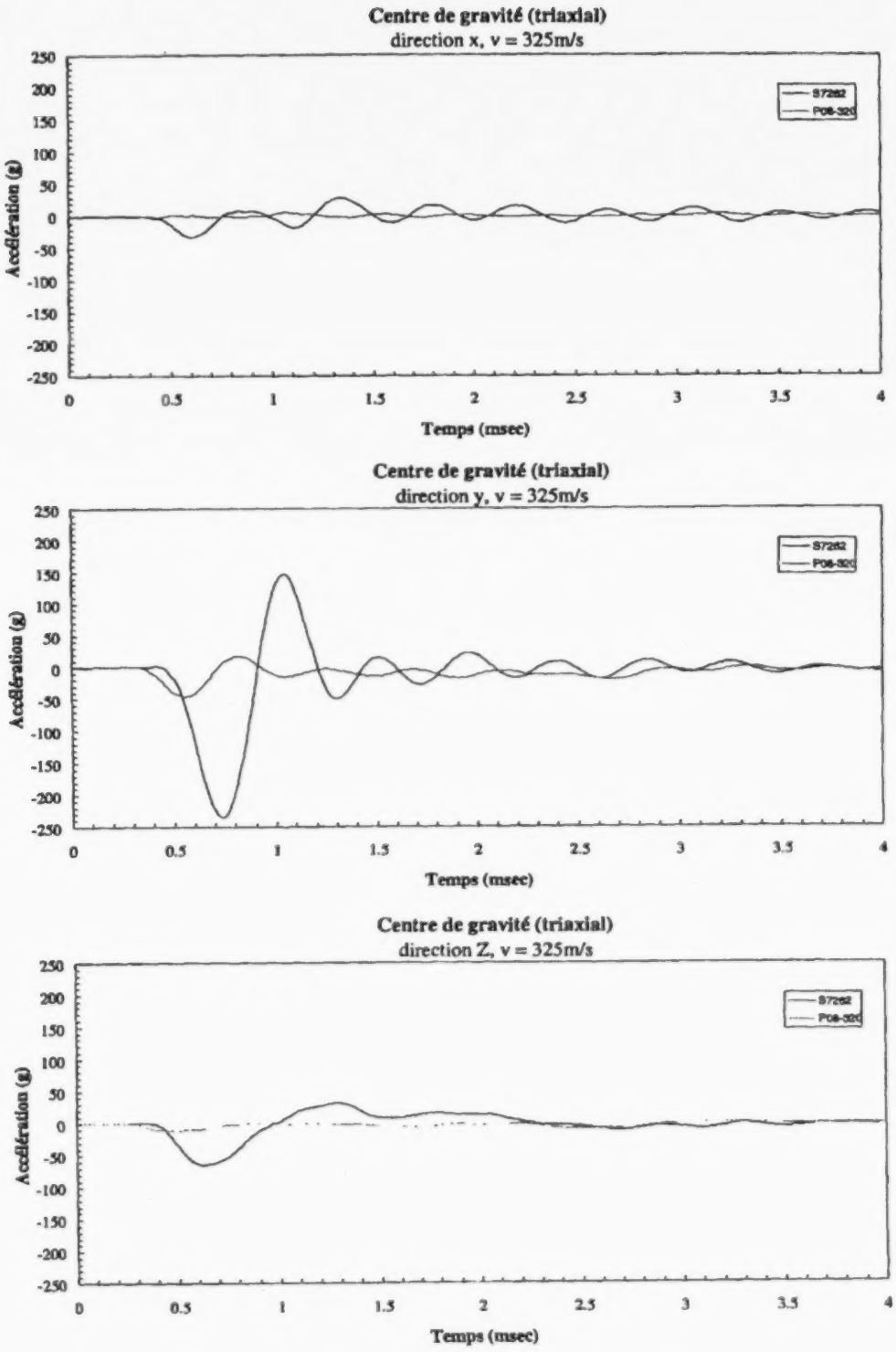




Comparaison casque S7262 avec plaque P08-320

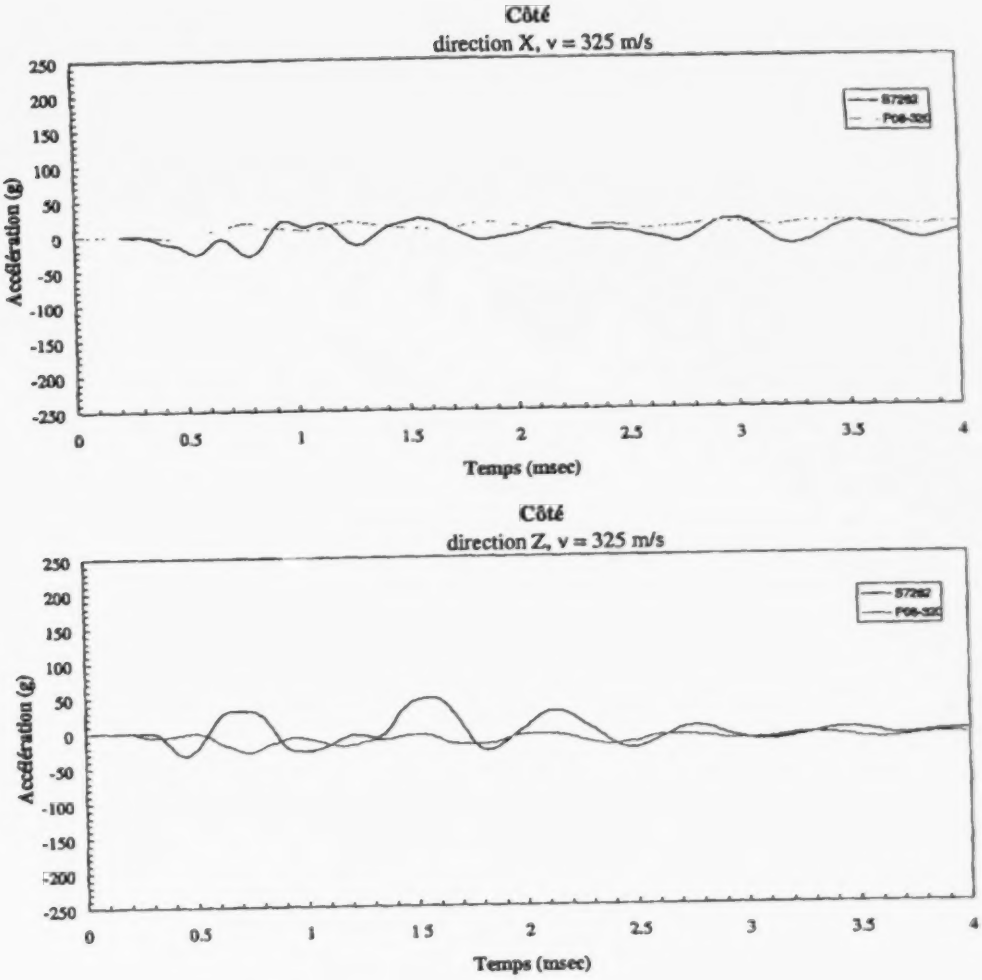


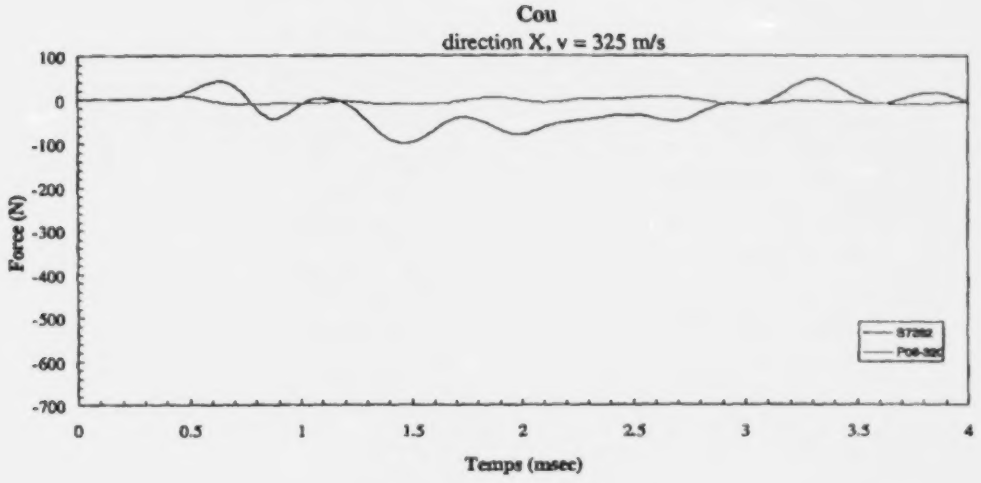

Comparaison casque S7262 avec plaque P08-320

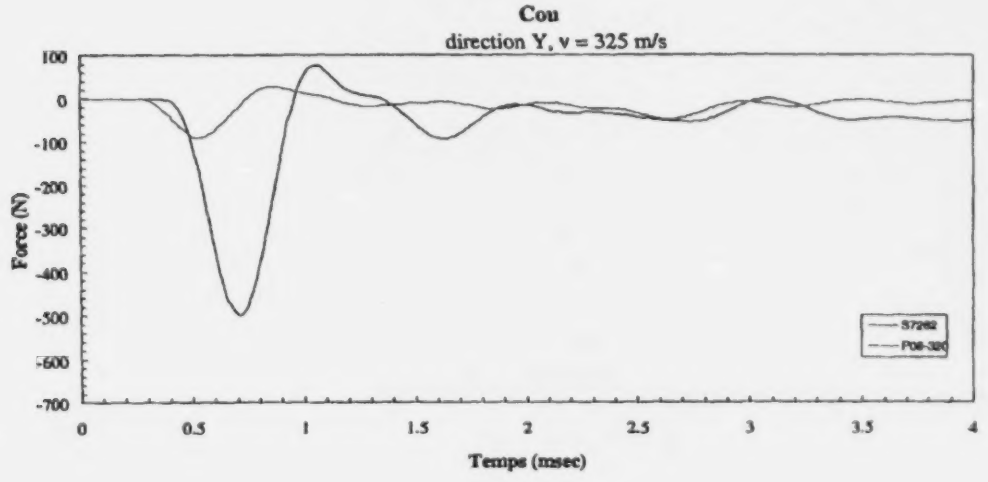


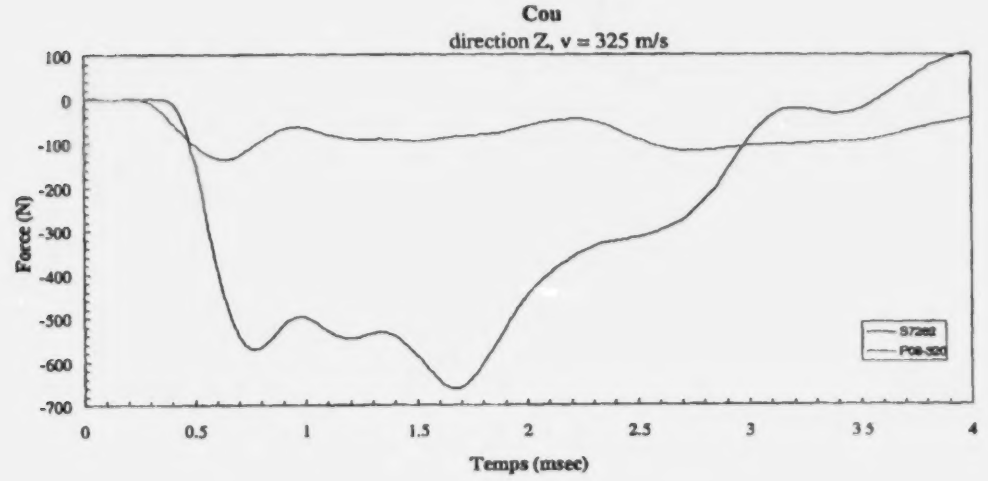

Comparaison casque S7262 avec plaque P08-320



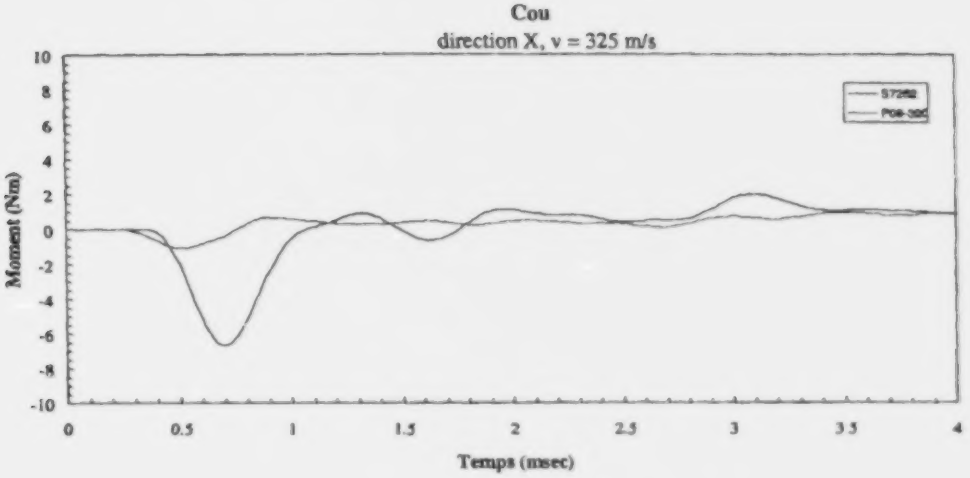

Comparaison casque S7262 avec plaque P08-320

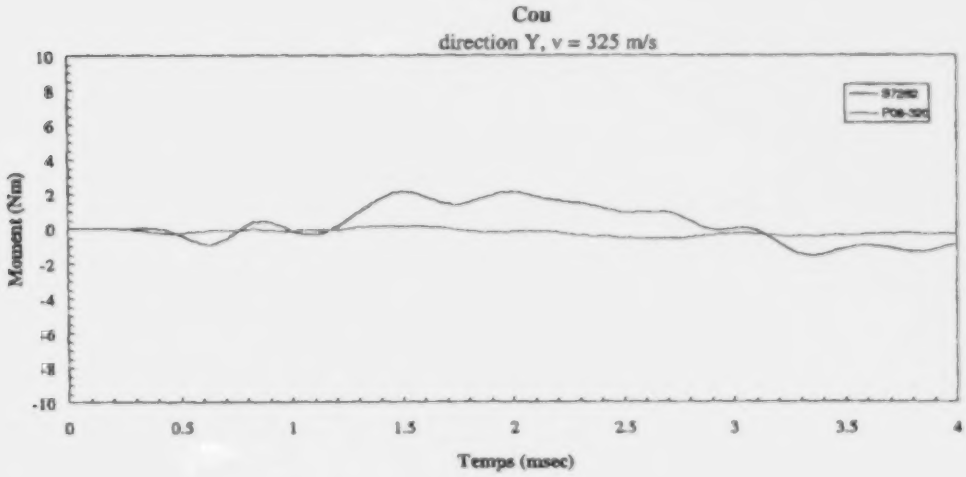


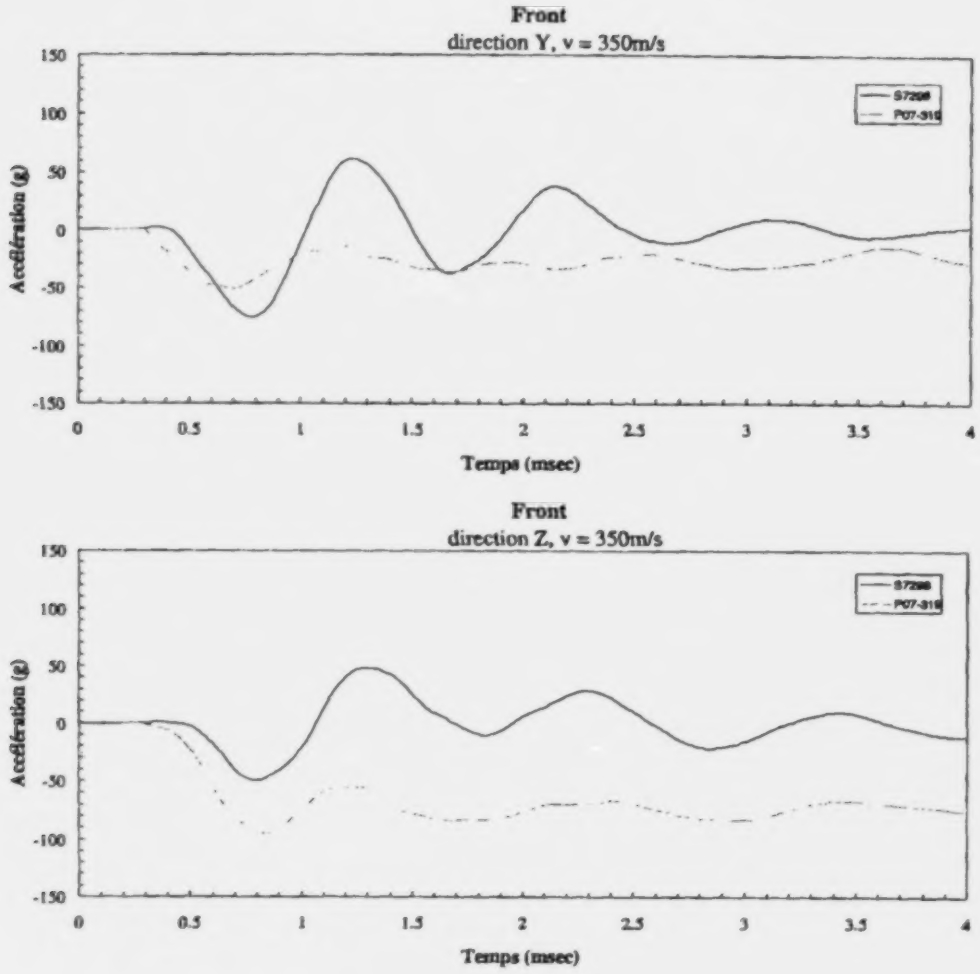




Comparaison casque S7262 avec plaque P08-320

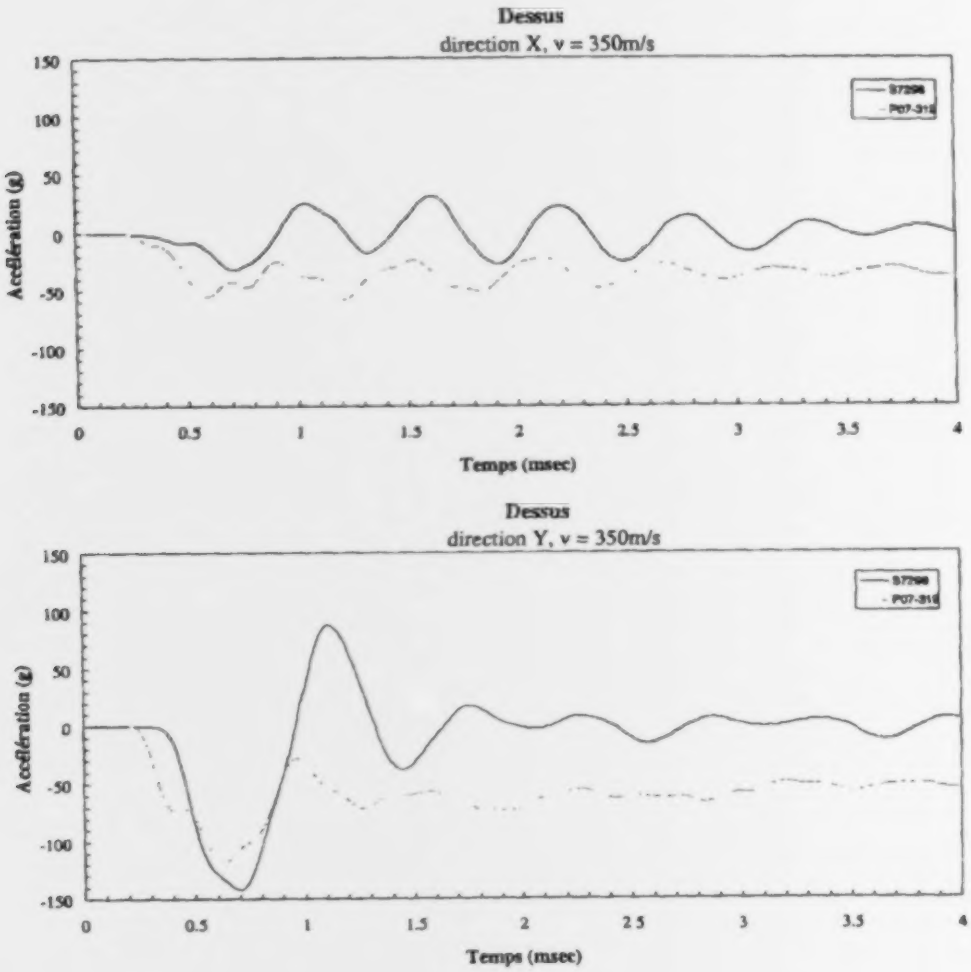


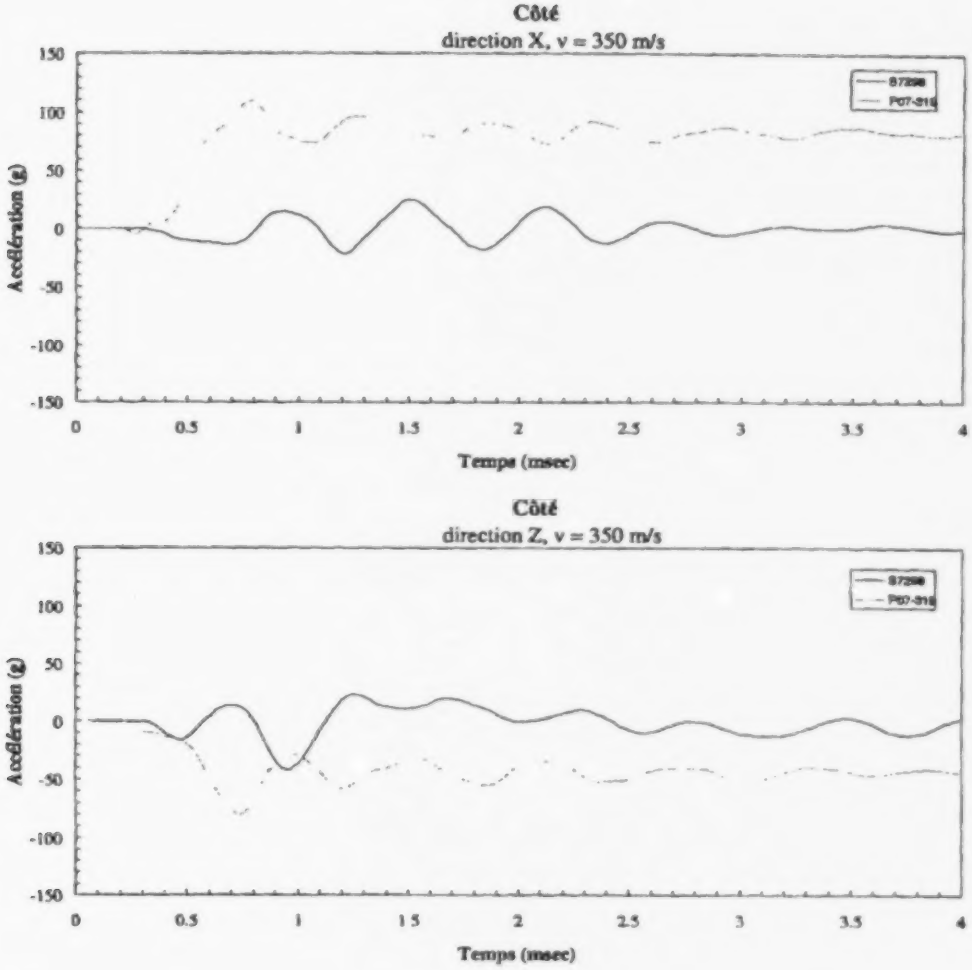

Comparaison casque S7262 avec plaque P08-320



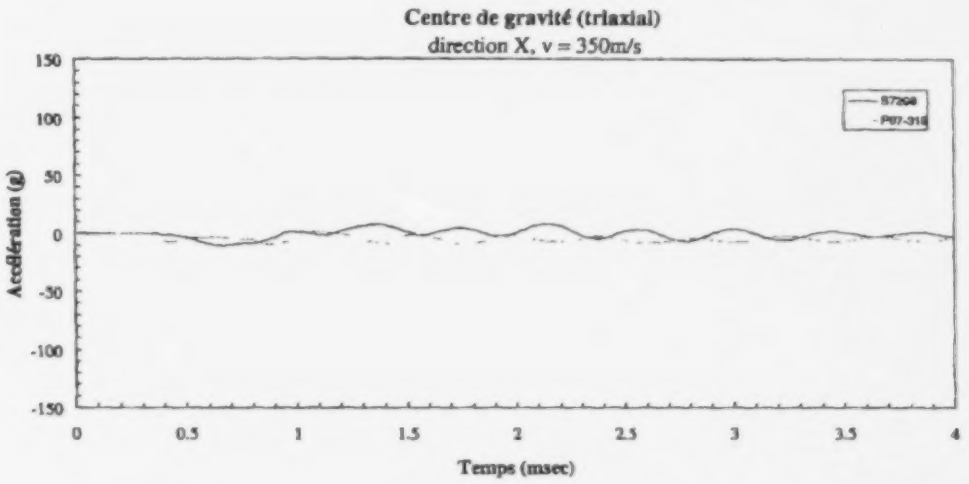

Comparaison casque S7298 avec plaque P07-319

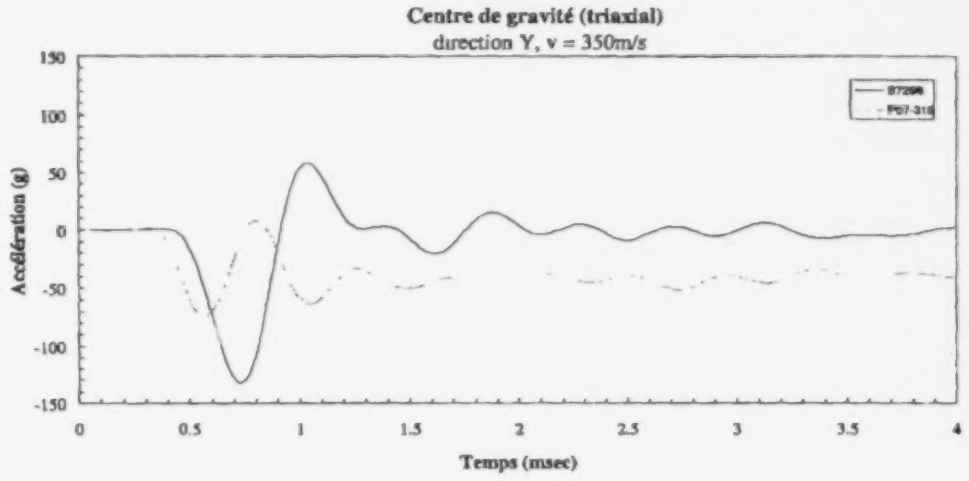


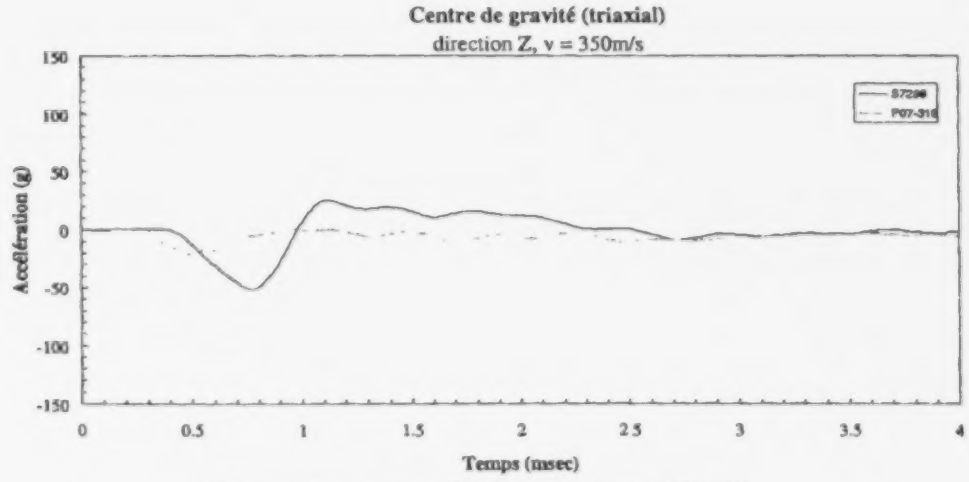

Comparaison casque S7298 avec plaque P07-319



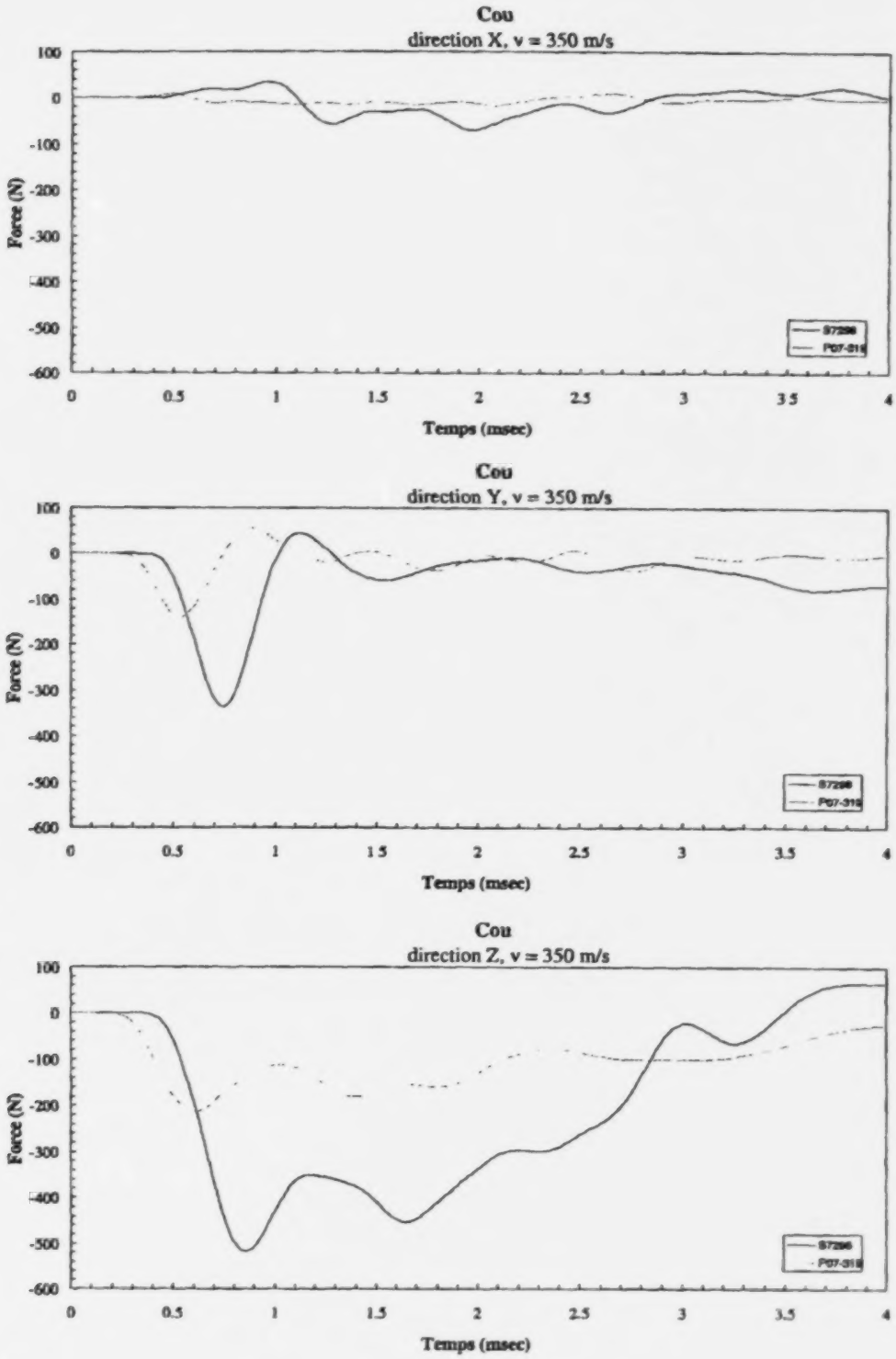

Comparaison casque S7298 avec plaque P07-319



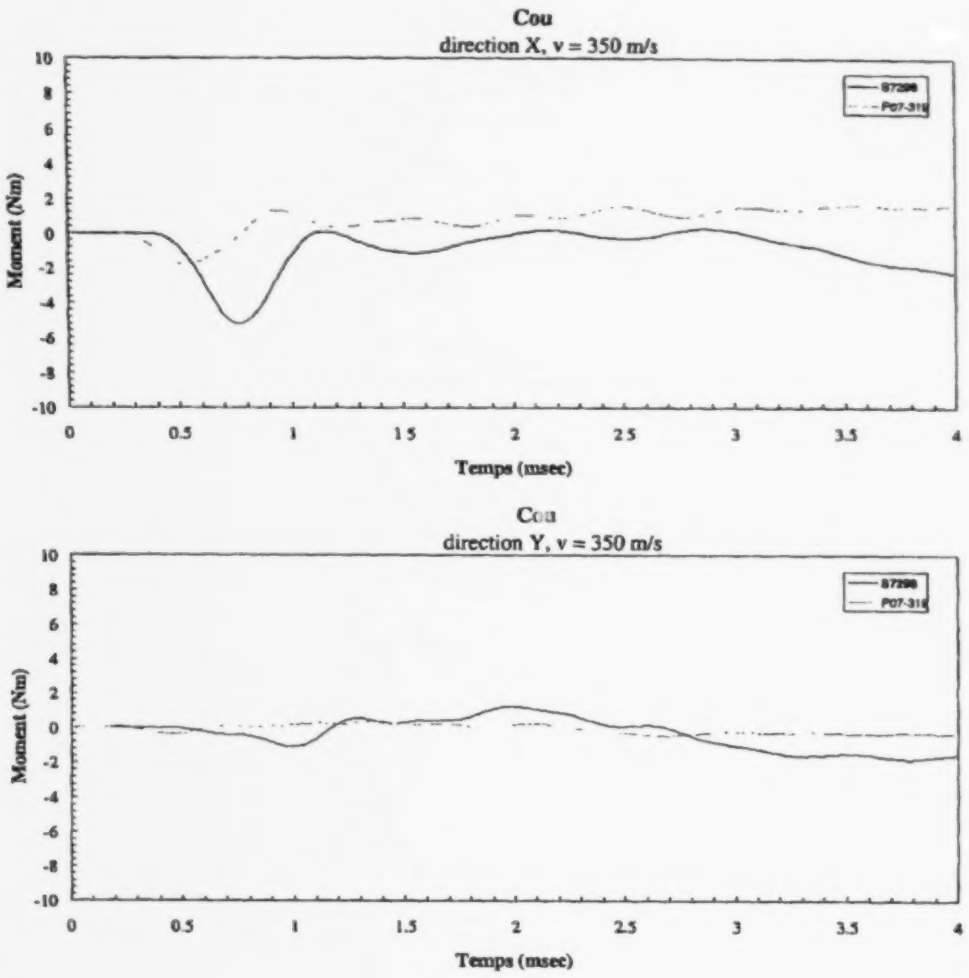




Comparaison casque S7298 avec plaque P07-319




Comparaison casque S7298 avec plaque P07-319



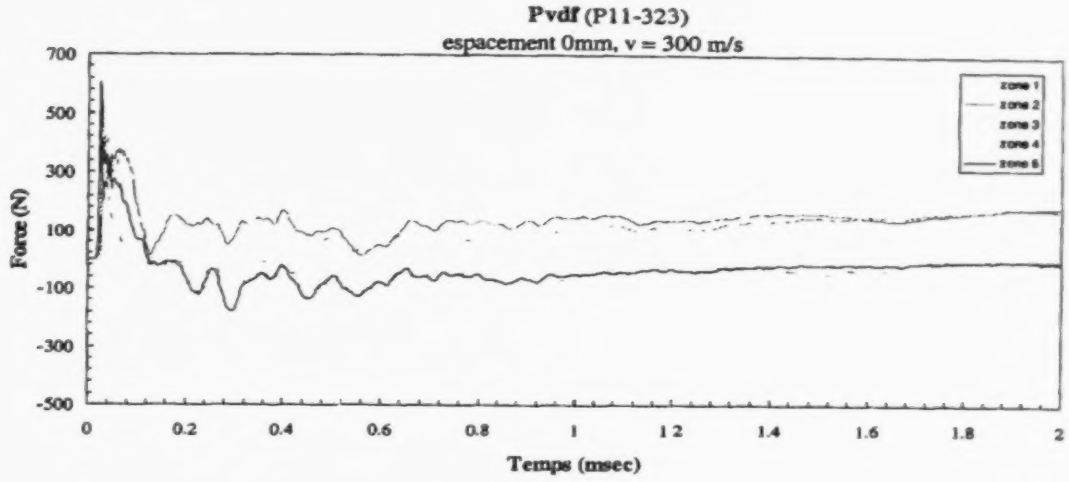

Comparaison casque S7298 avec plaque P07-319

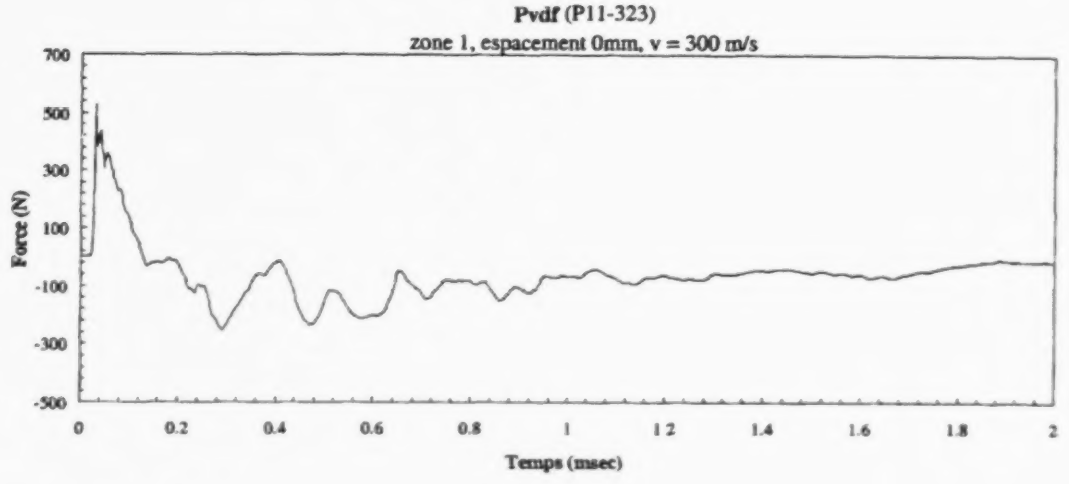
# Annexes B

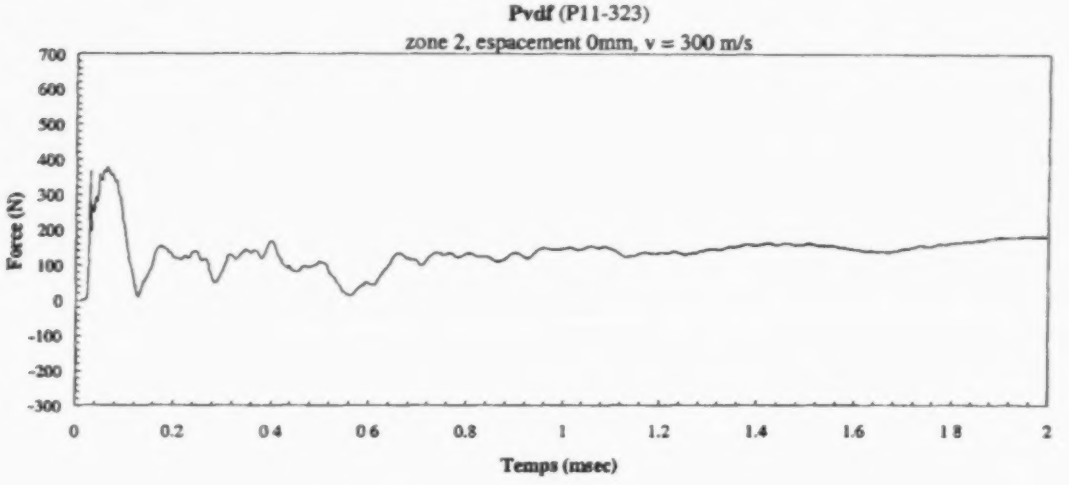
Les figures qui suivent montrent les résultats des plaques pour les forces de contacts, les accélérations, les forces et moments au cou. Pour faciliter l'observation des variations des résultats, les résultats pour les forces de contact sont montrés en premier et selon l'ordre donné par le tableau suivant. Les accélérations suivent et finalement, les forces et moments au cou sont présentées toujours selon l'ordre du tableau. L'espacement et la vitesse déterminent l'ordre des graphiques. Les forces de contact sont présentées selon la zone du capteur PVDF. Pour chaque plaque, le premier graphique montre la compilation des 5 zones de contacts. Les 5 autres graphiques montrent séparément chacune des 5 zones de contactes. Les accélérations, les forces et moments au cou ne sont pas filtrés et sont présentées selon la position des instruments de mesure dans la tête instrumentée (front, dessus, côté, centre de gravité et cou).

*Liste des graphiques - plaques*

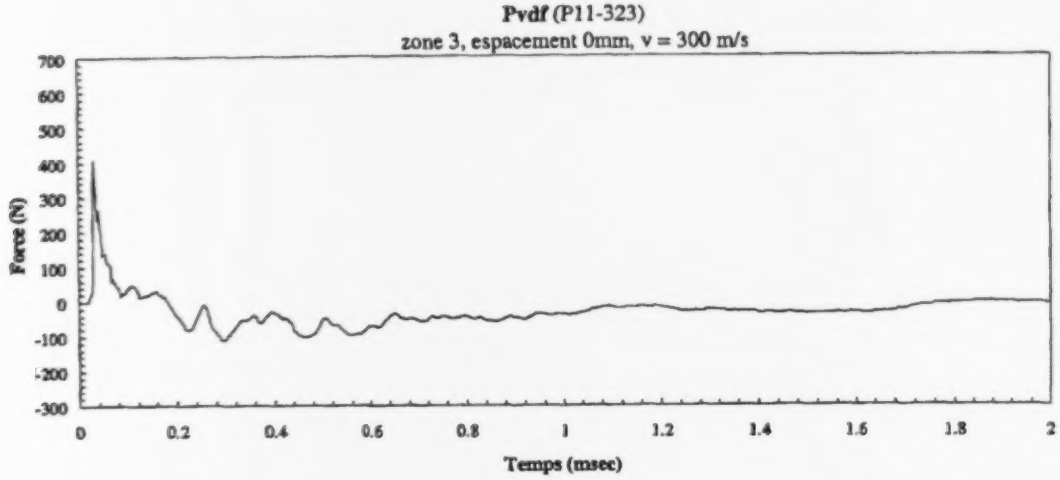
| Échantillons | Vitesse<br>m/s | Espacement<br>mm |
|---|---|---|
| P11-323 | 300 | 0 |
| P09-321 | 262 | 6 |
| P10-322 | 300 | 6 |
| P12-324 | 304 | 6 |
| P08-320 | 325 | 6 |
| P07-319 | 350 | 6 |
| P02-314 | 270 | 13 |
| P03-315 | 298 | 13 |
| P06-318 | 300 | 13 |
| P01-313 | 325 | 13 |
| P04-316 | 328 | 13 |
| P05-317 | 335 | 13 |

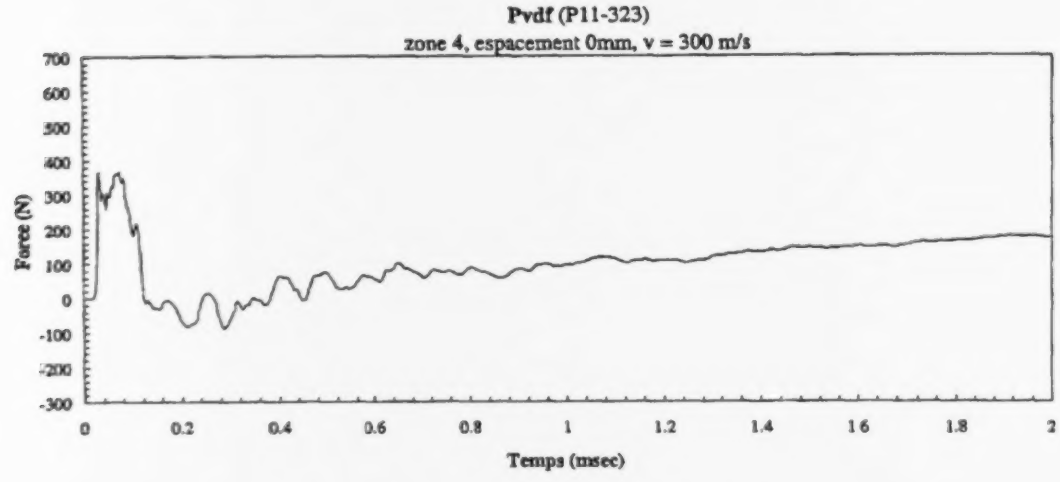


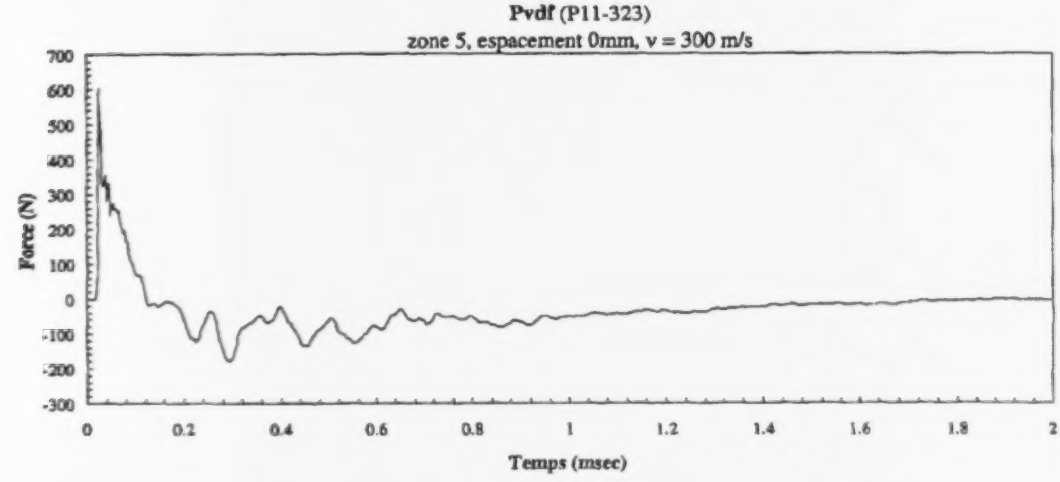



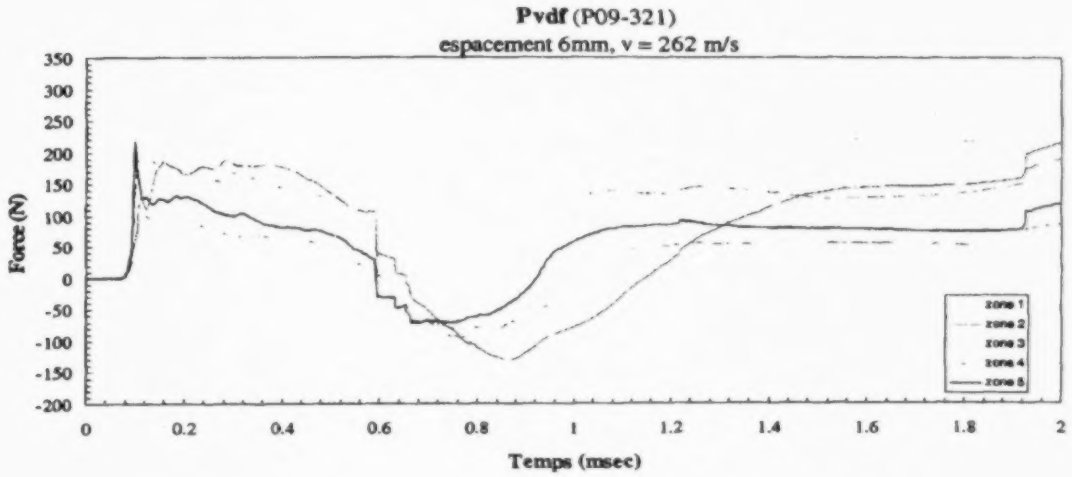

Force de contact plaque P11-323

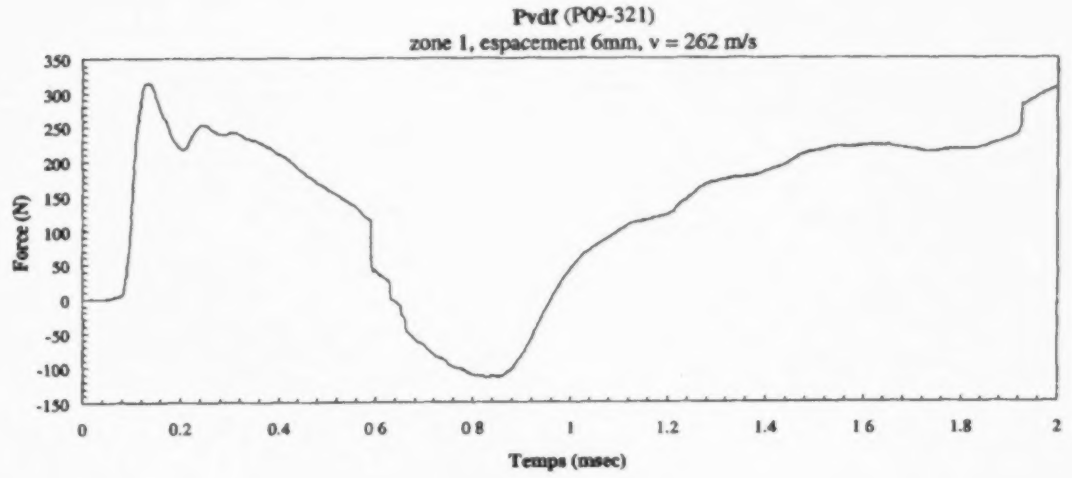


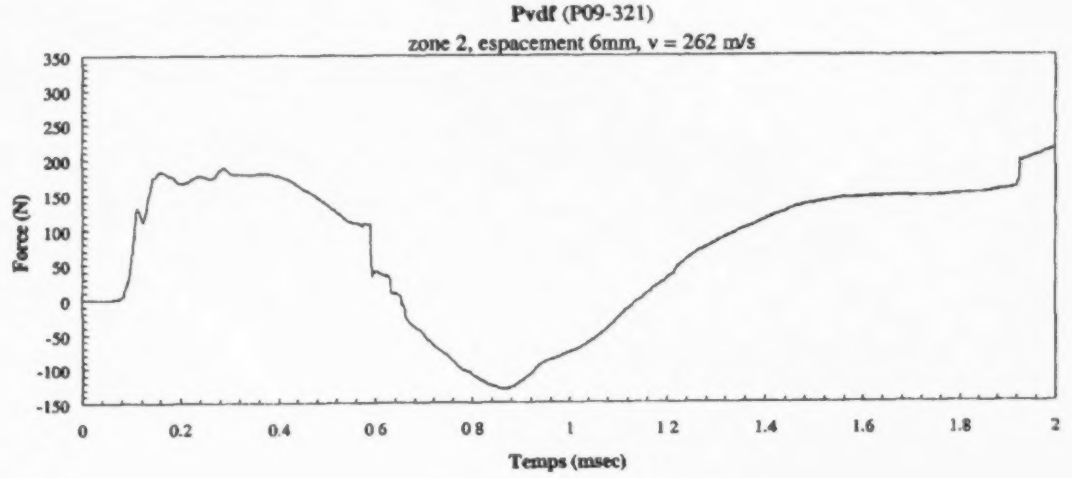



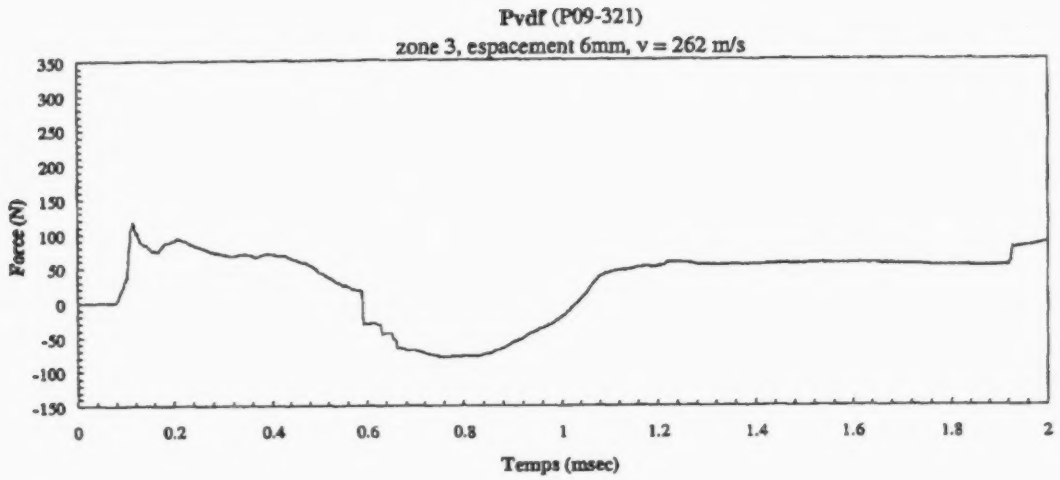

Force de contact plaque P11-323

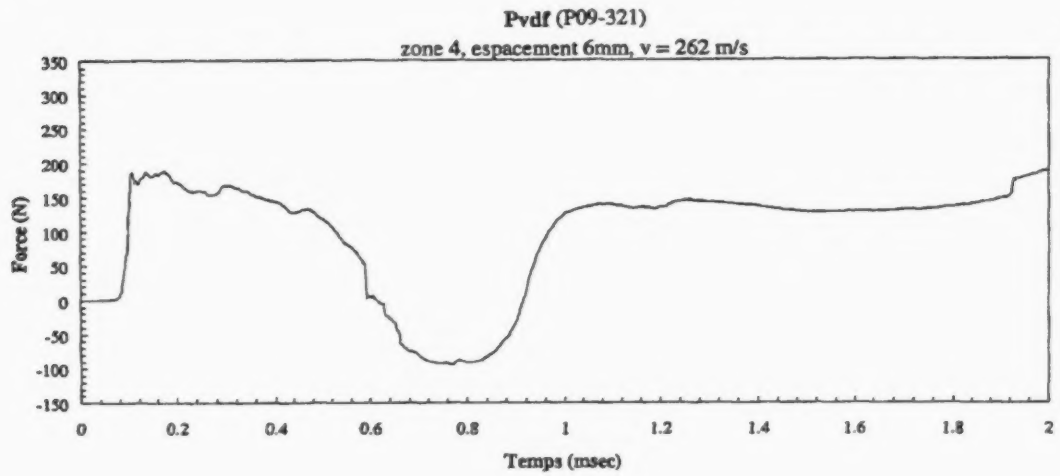


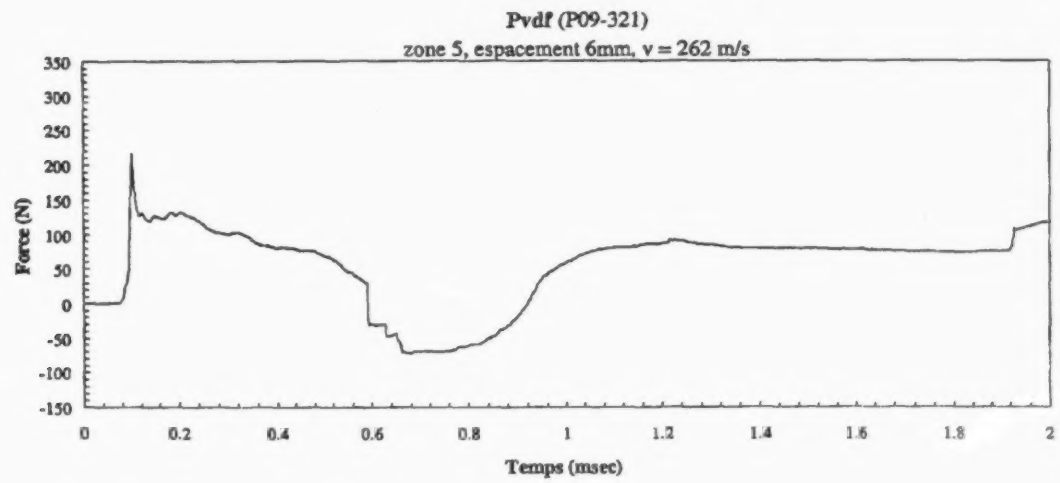



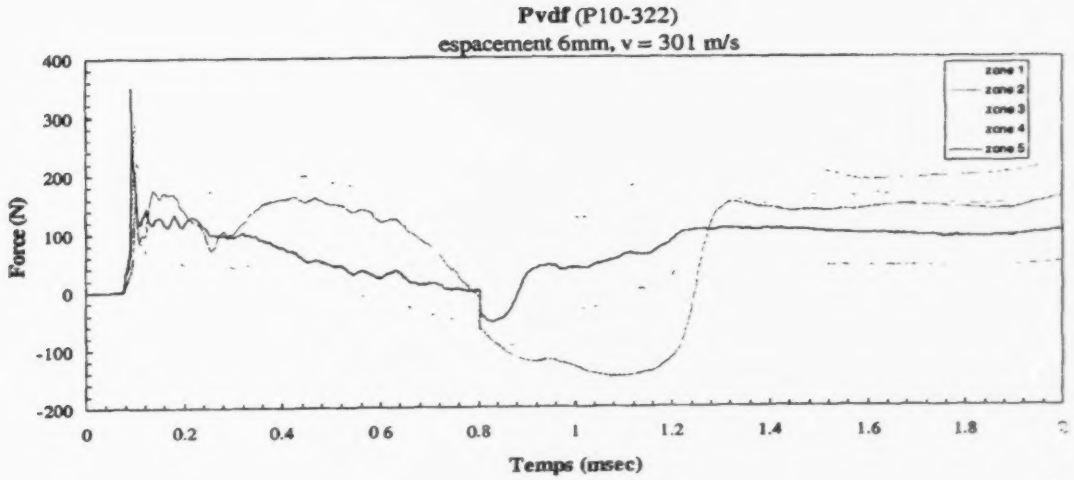

Force de contact plaque P09-321

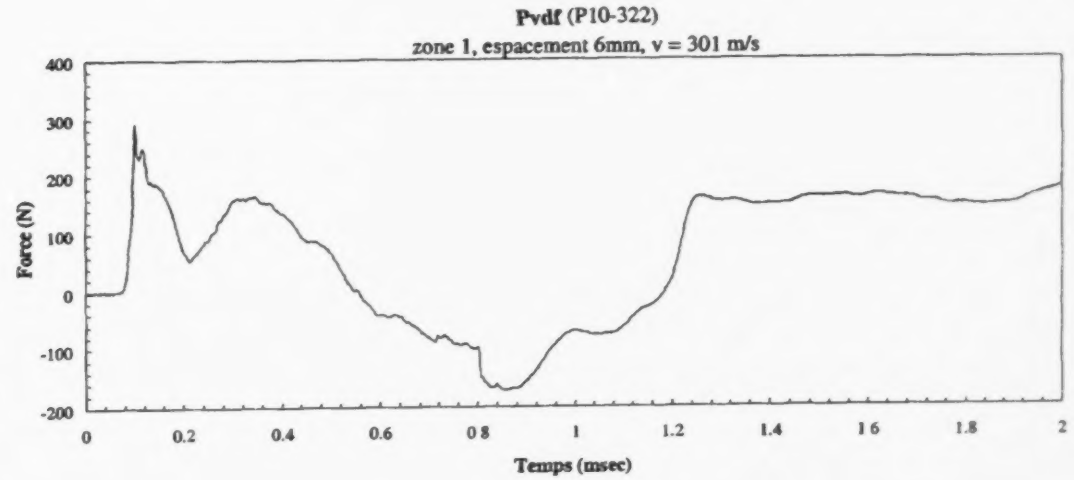


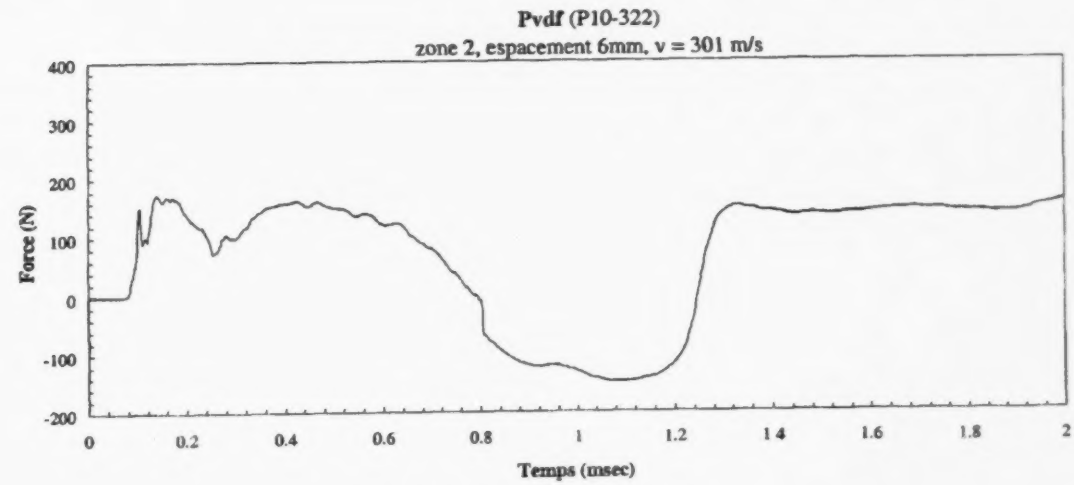



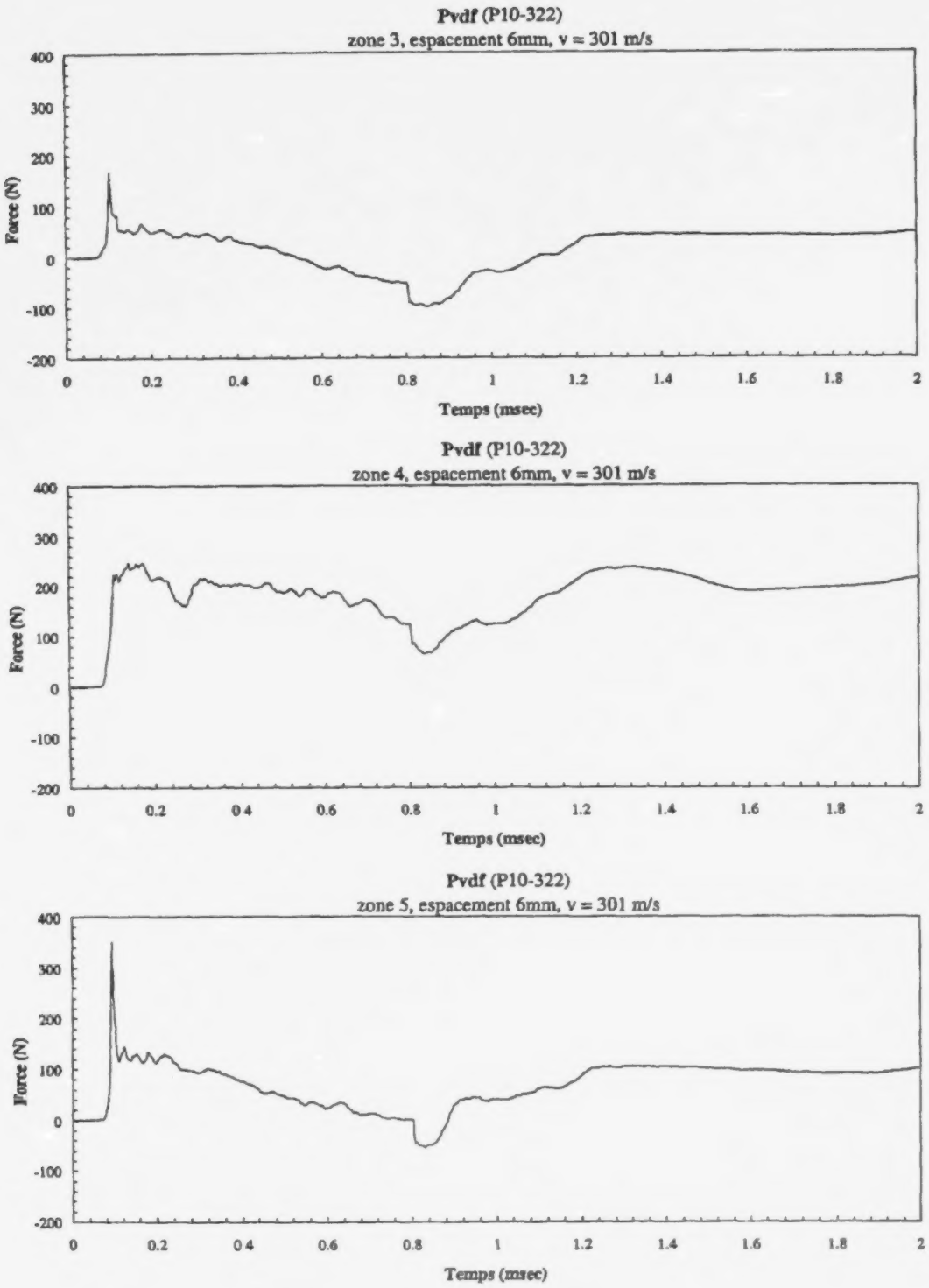

Force de contact plaque P09-321



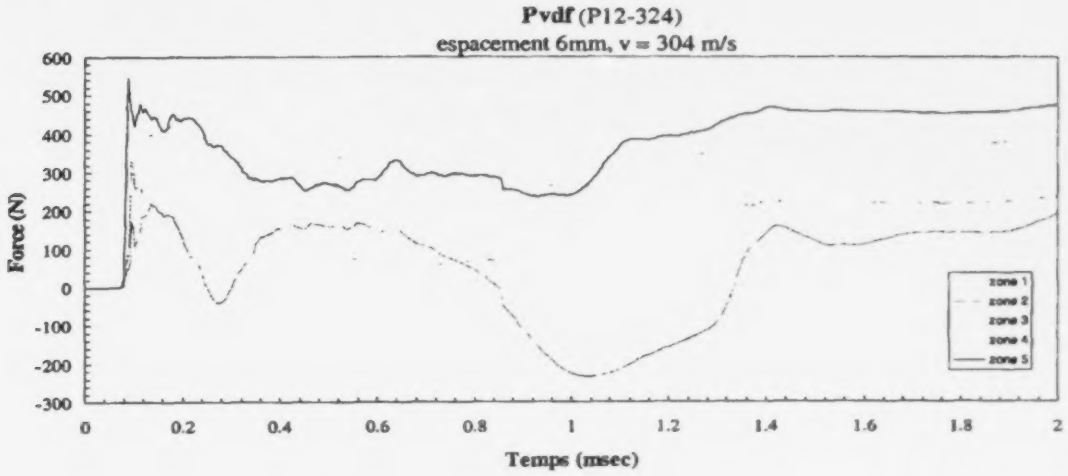



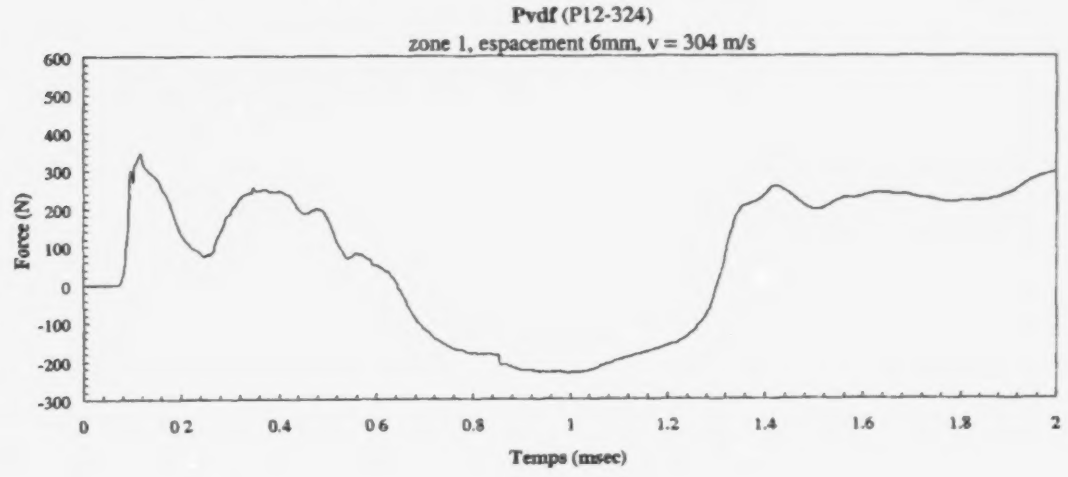



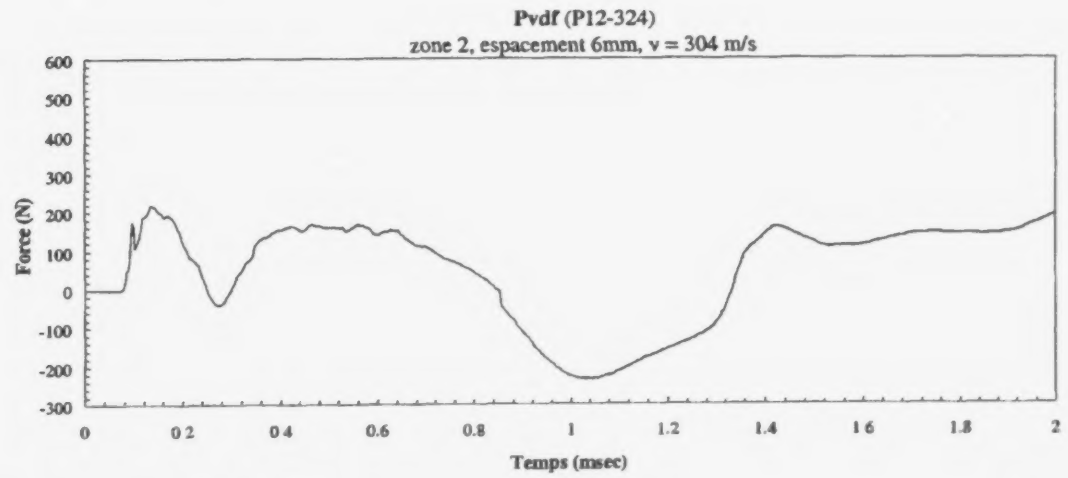

Force de contact plaque P10-322



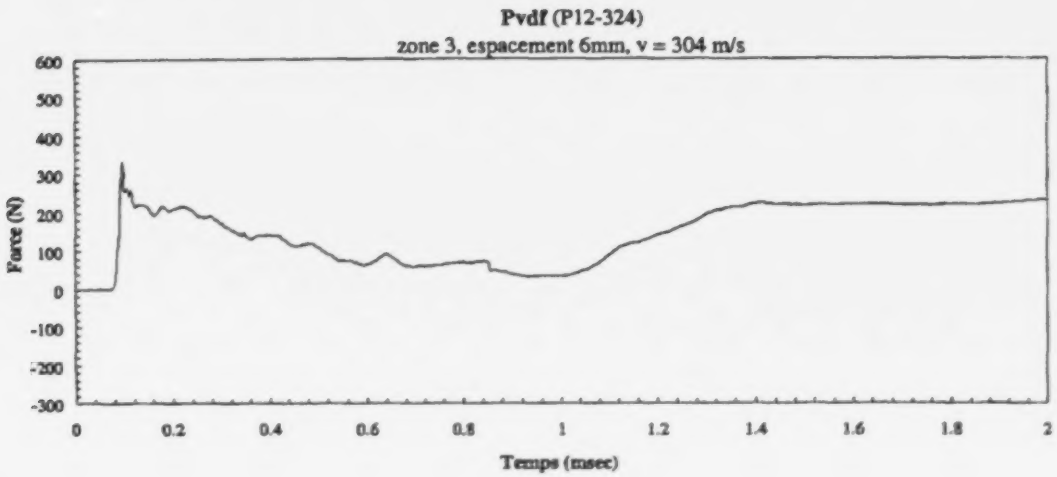

Force de contact plaque P10-322

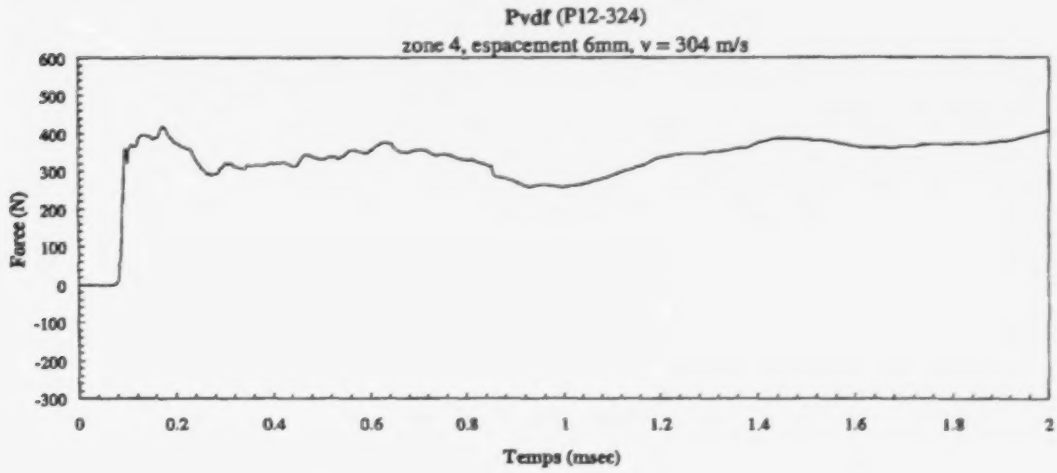


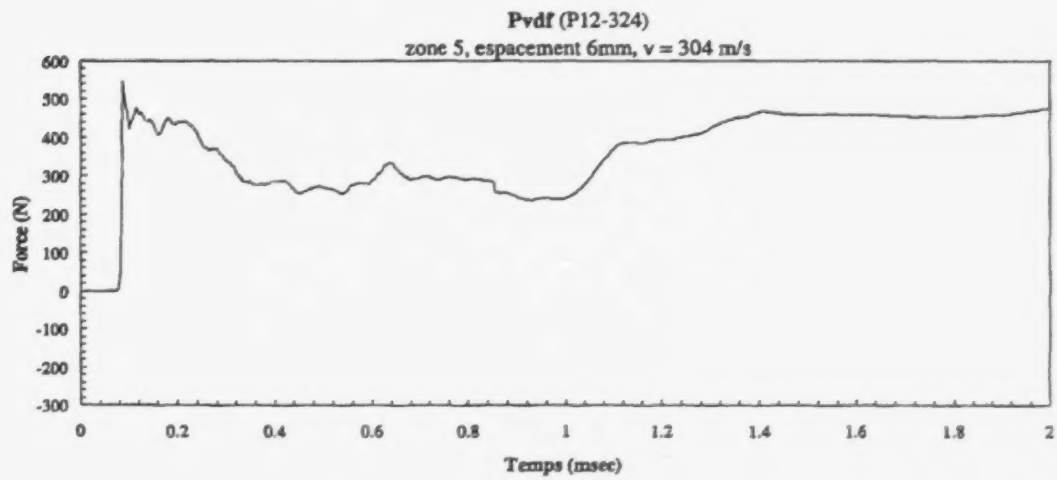



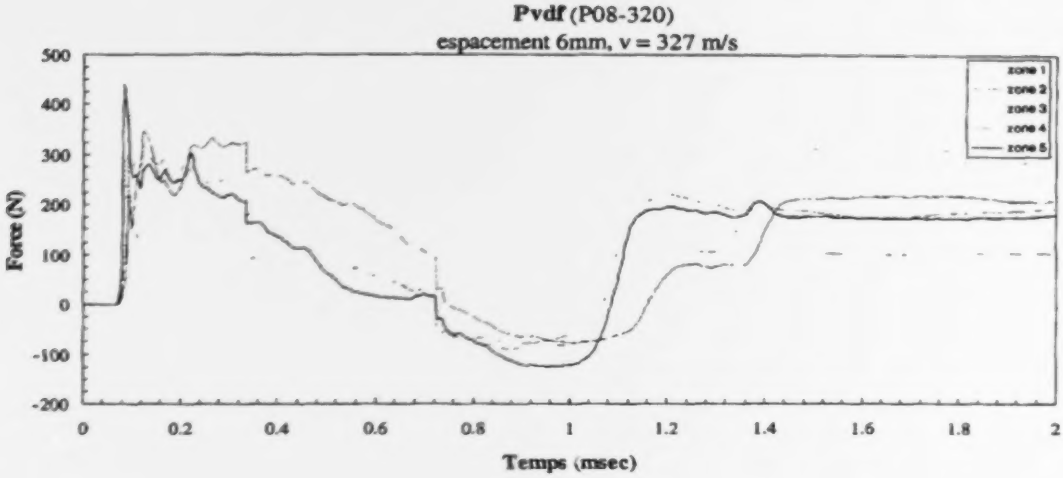

Force de contact plaque P12-324

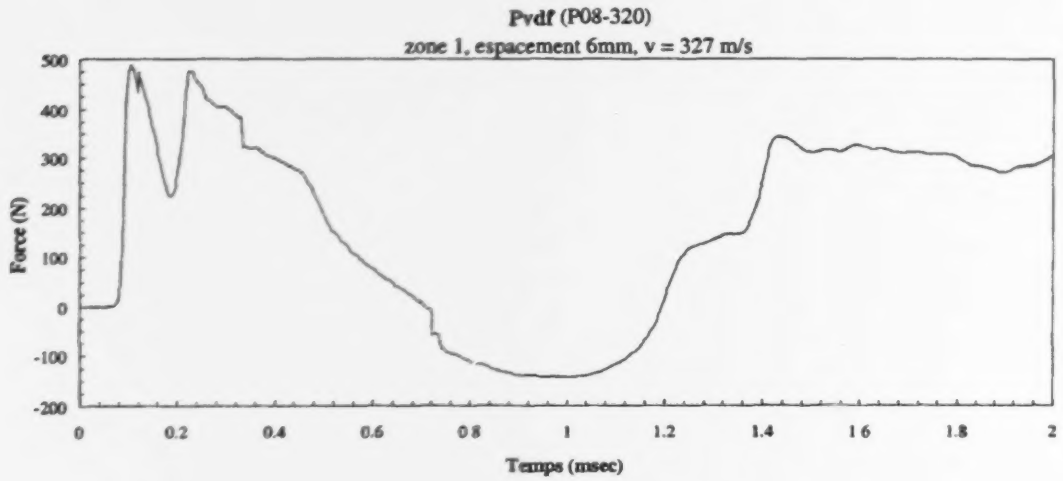


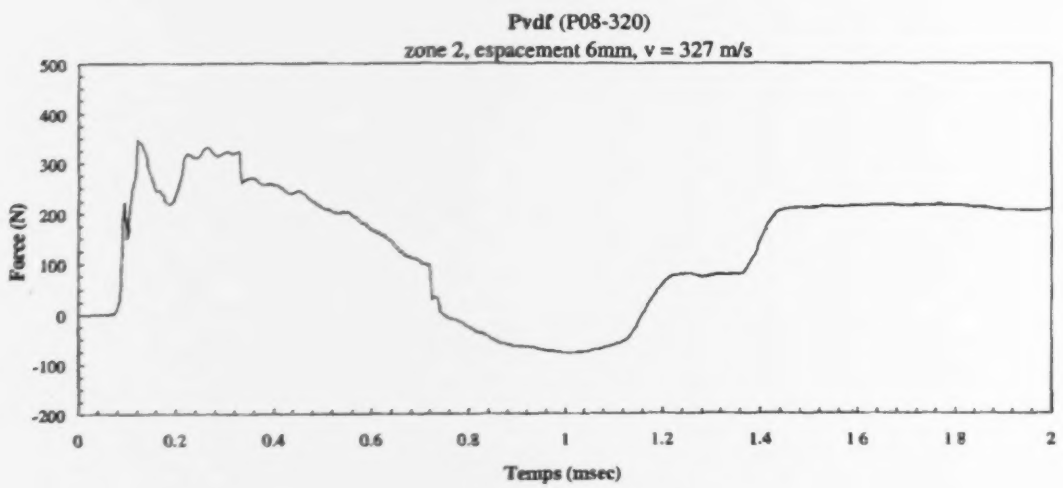



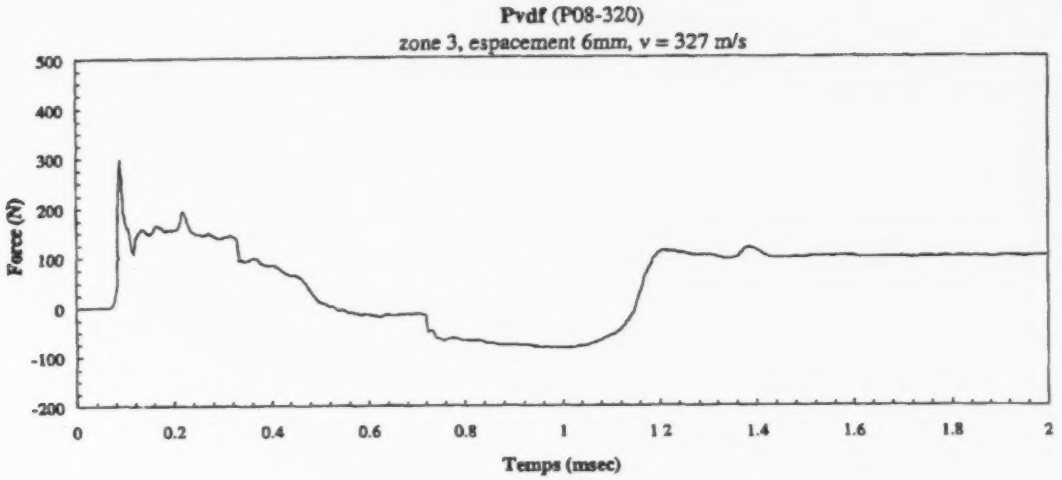

Force de contact plaque P12-324

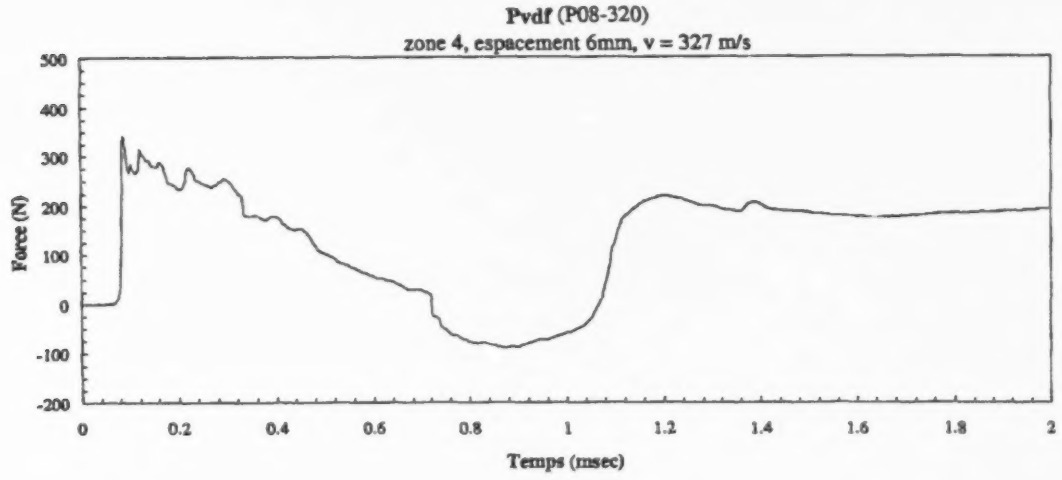


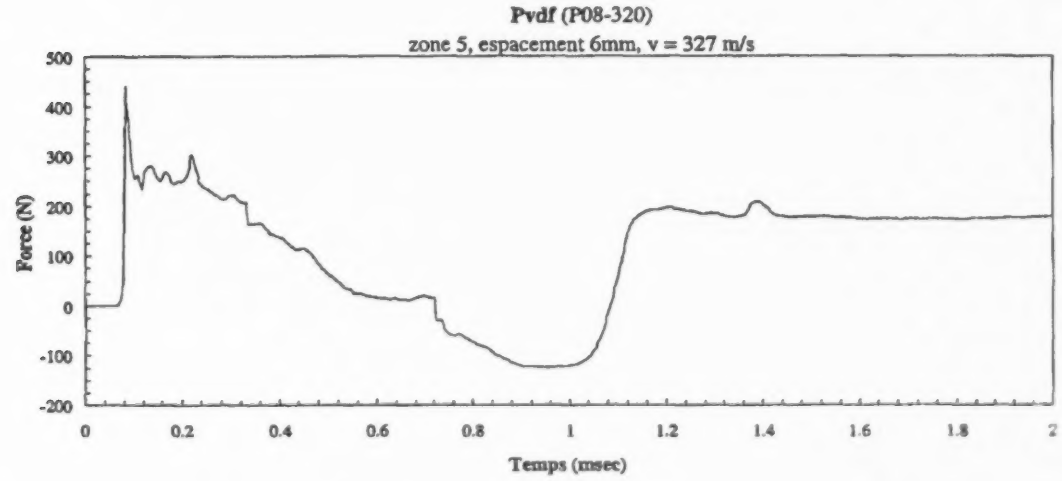



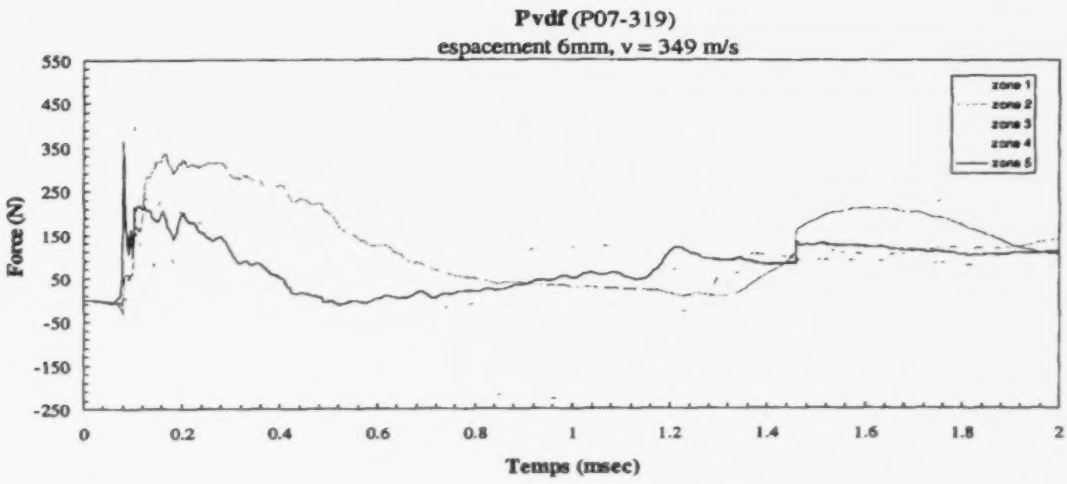

Force de contact plaque P08-320

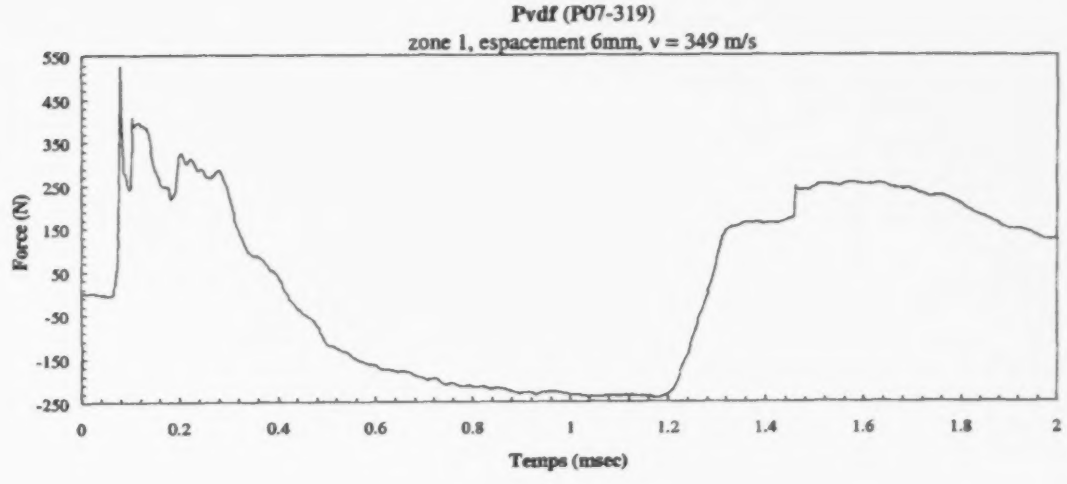


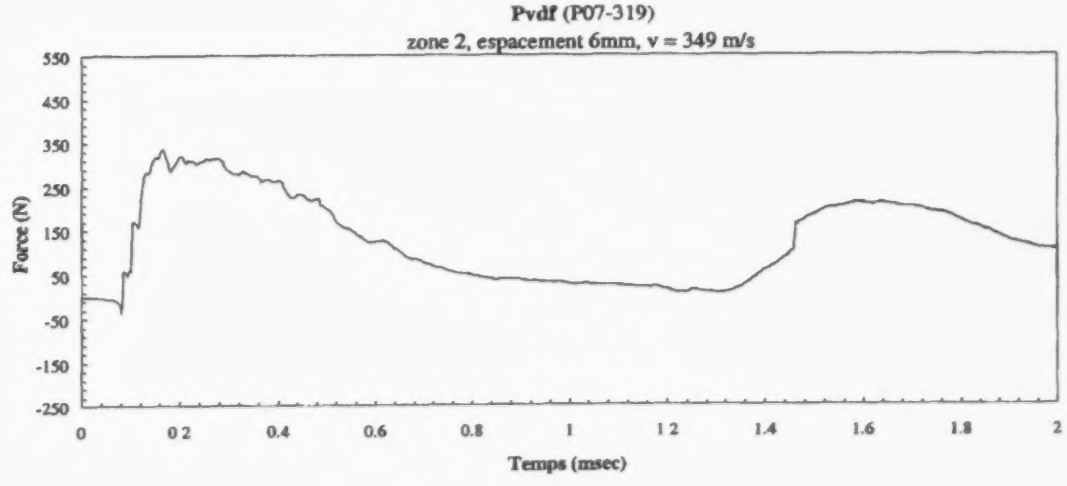



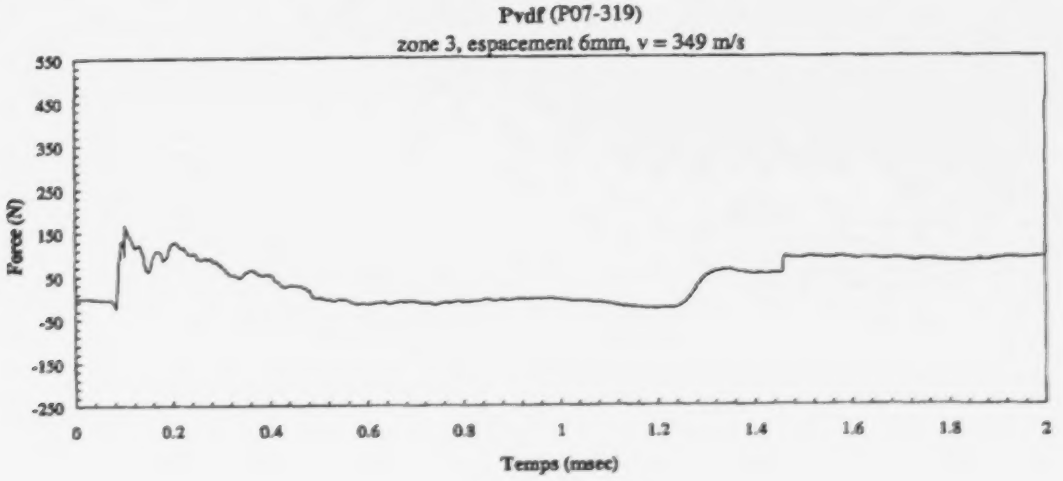

Force de contact plaque P08-320

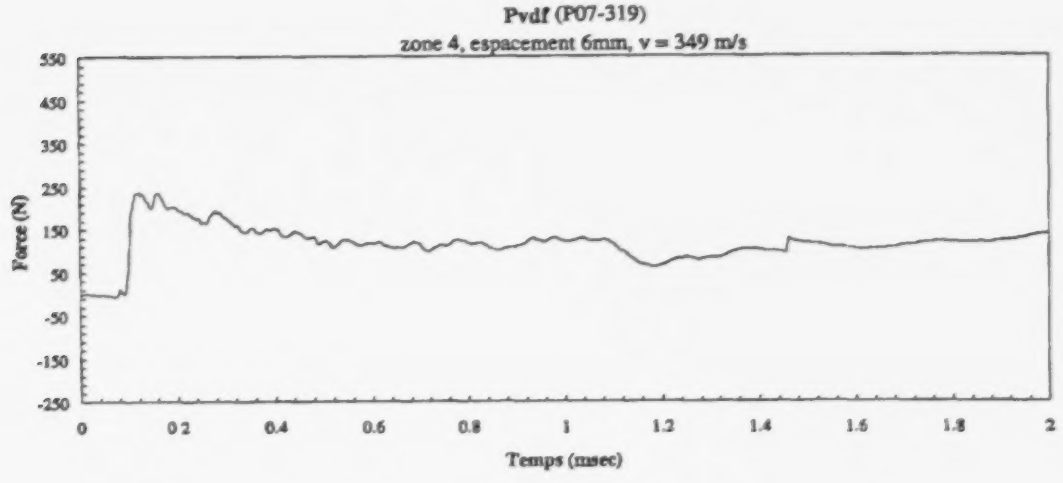


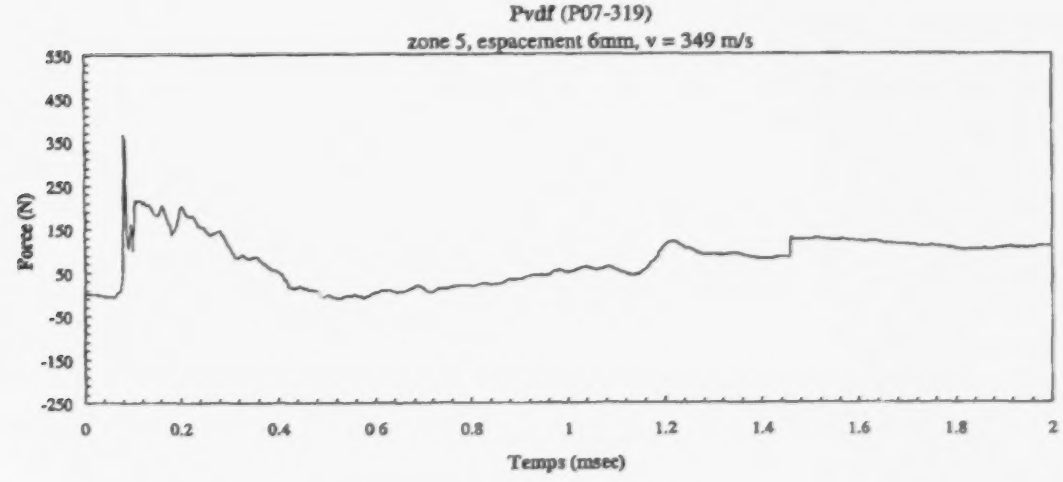



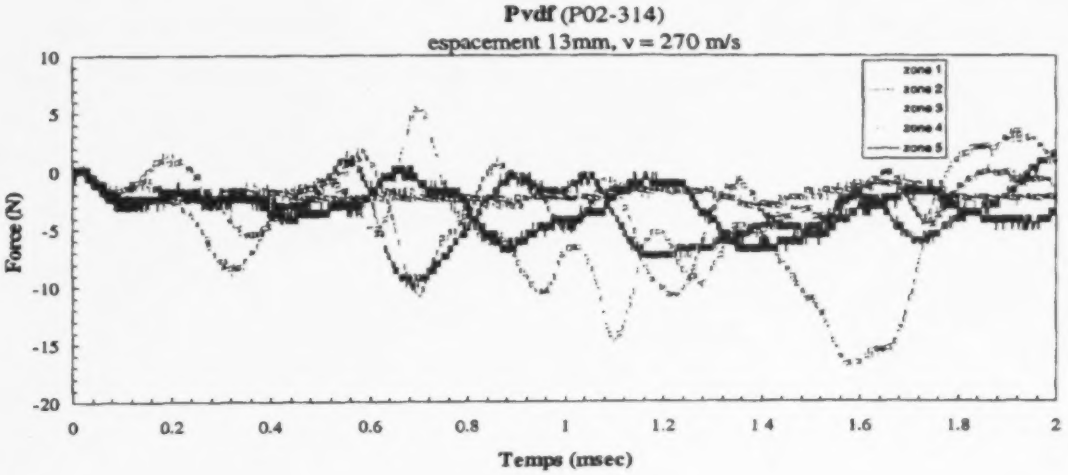

Force de contact plaque P07-319

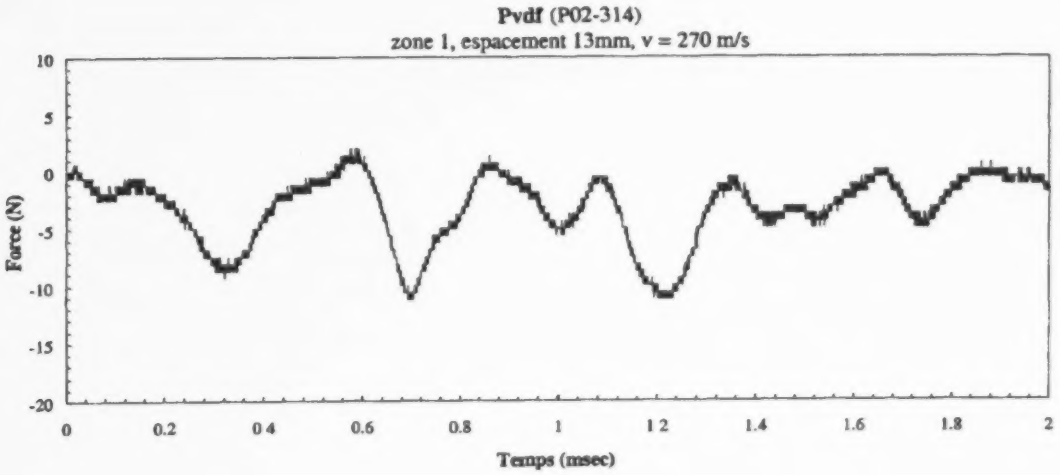


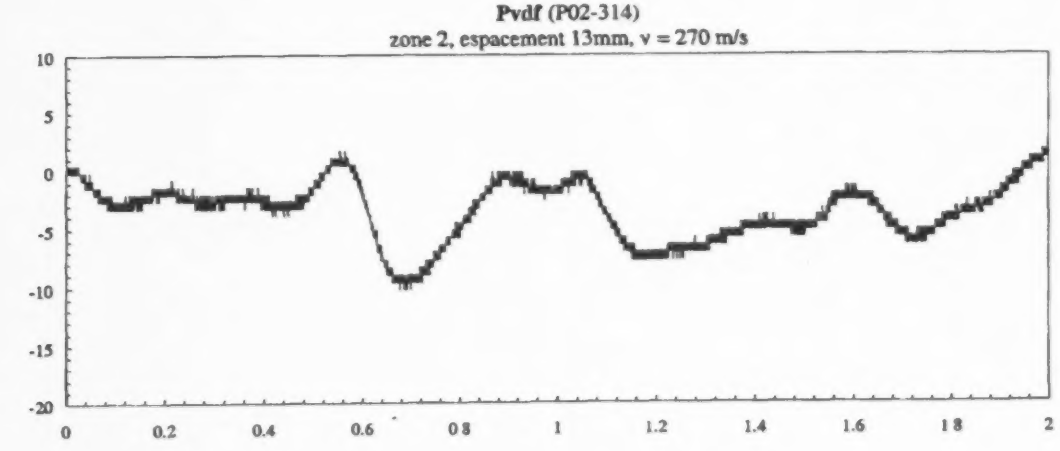



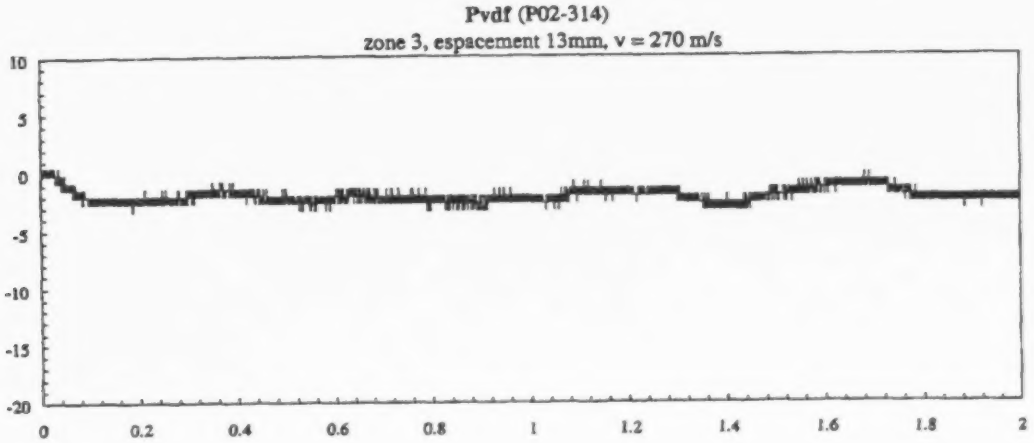

Force de contact plaque P07-319

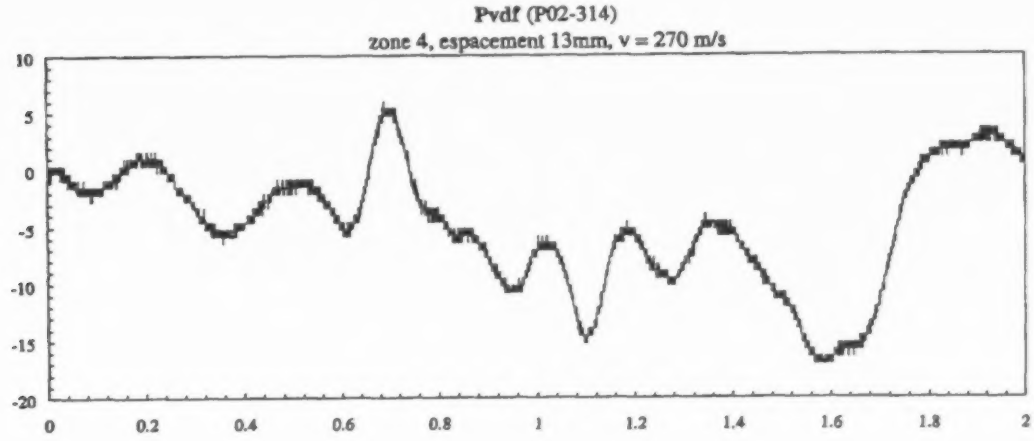


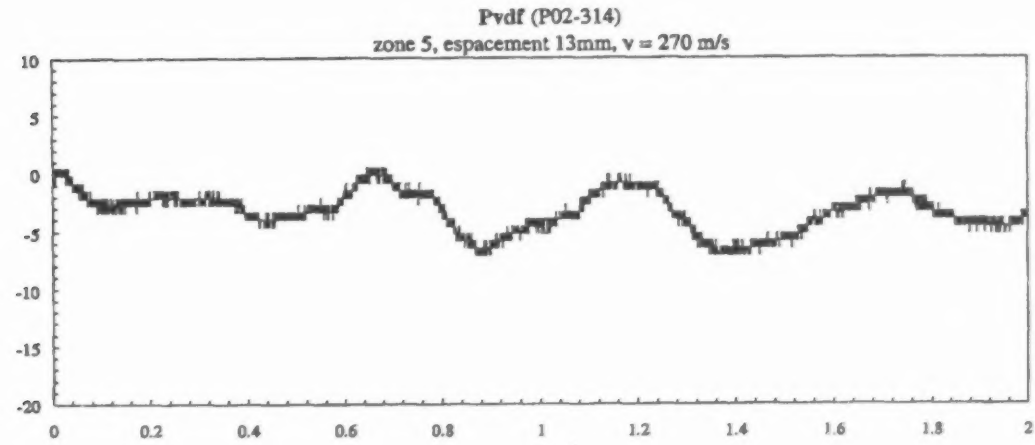



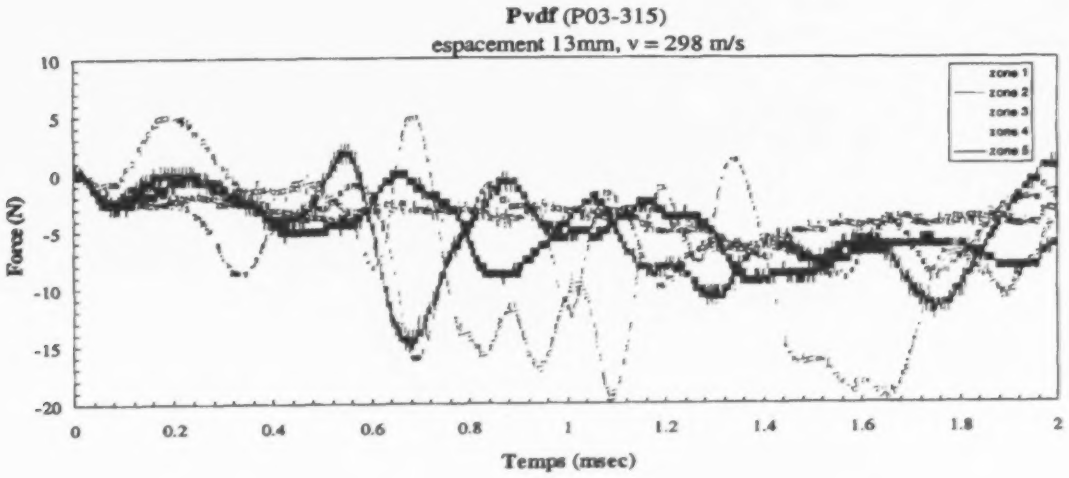

Force de contact plaque P02-314

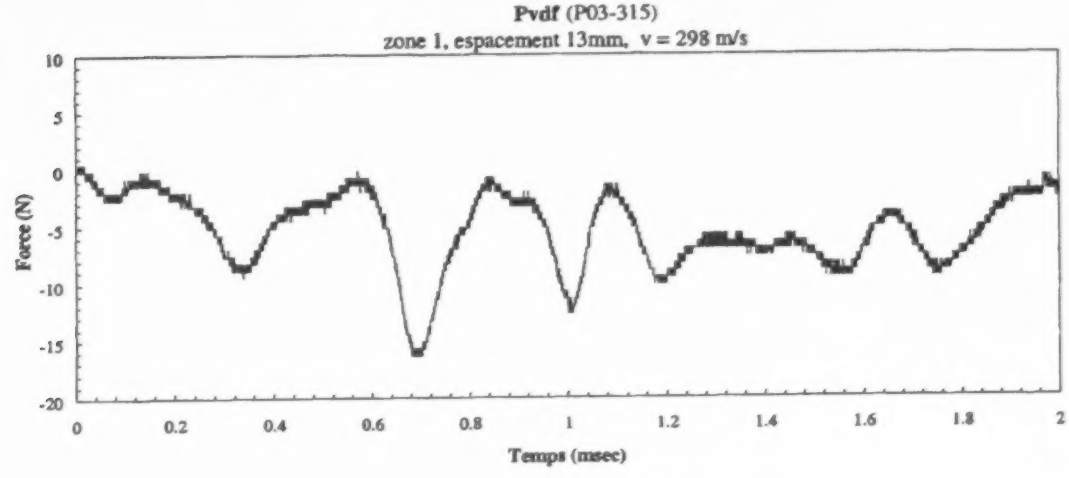


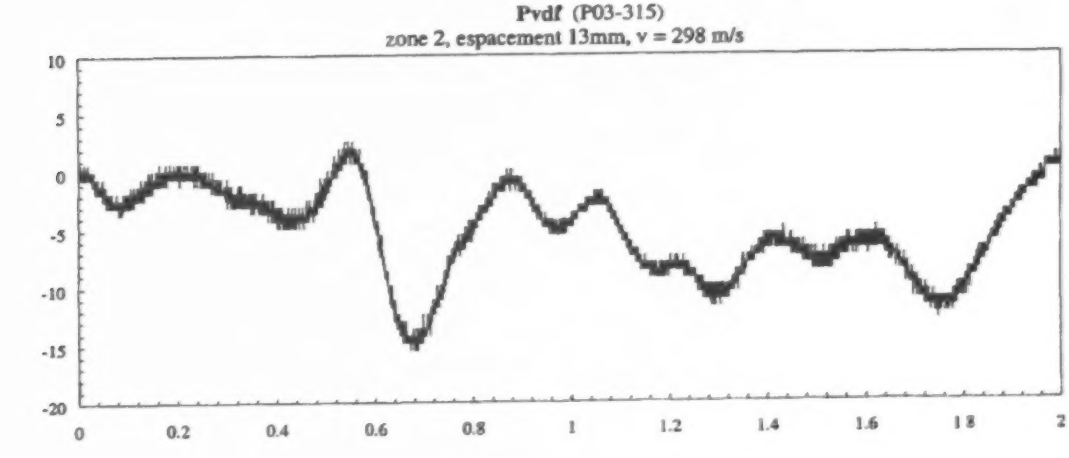



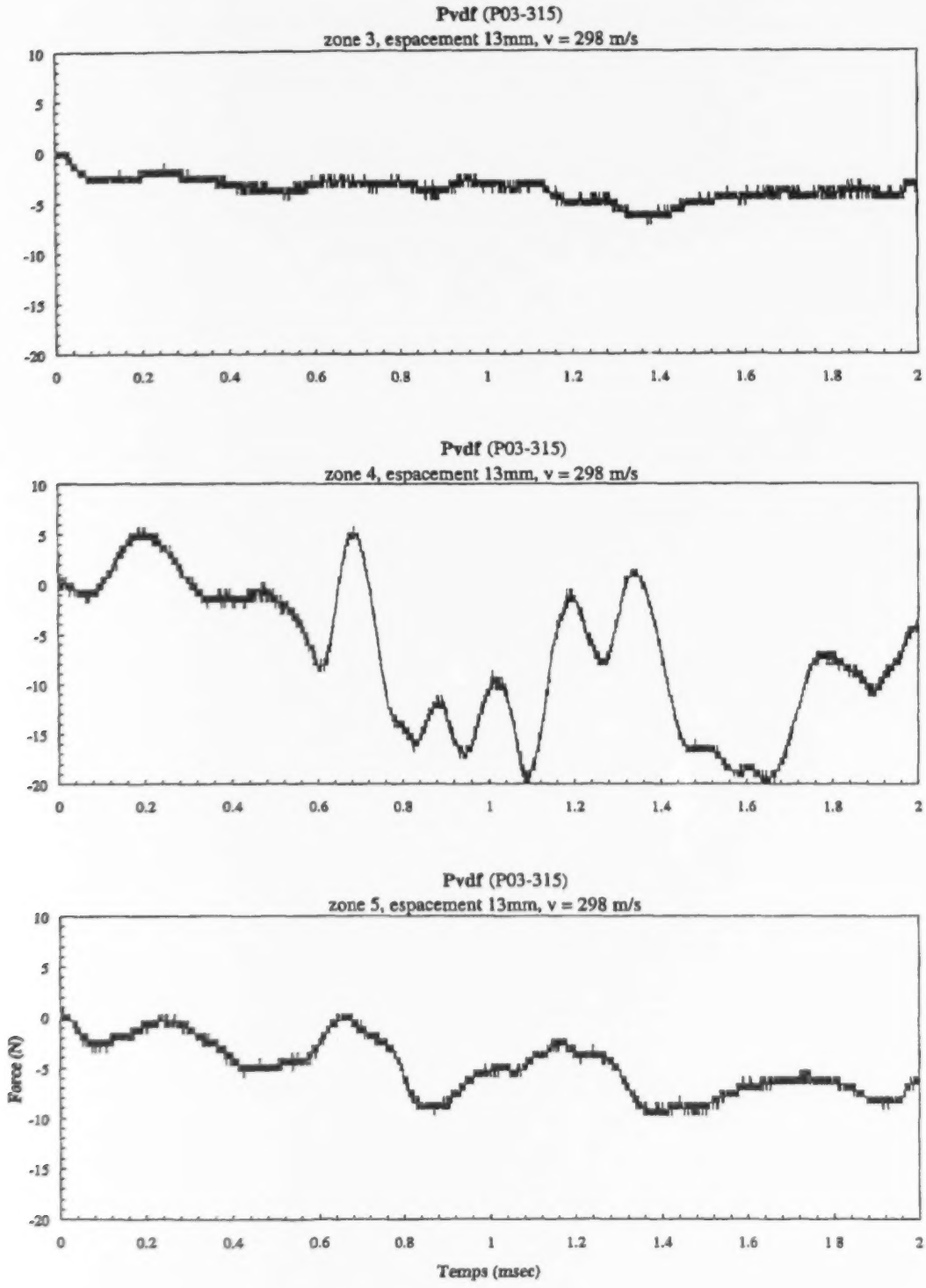

Force de contact plaque P02-314



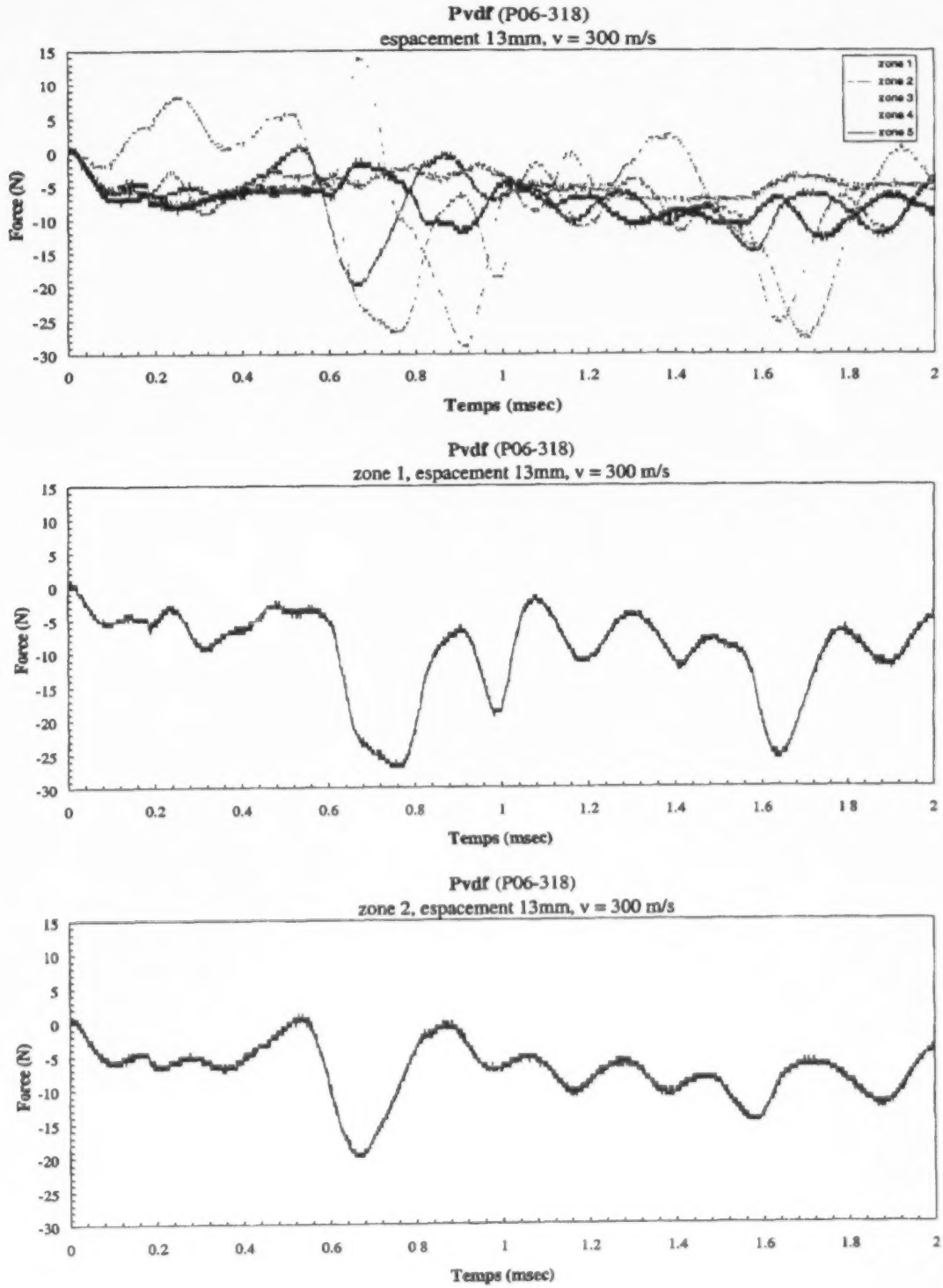



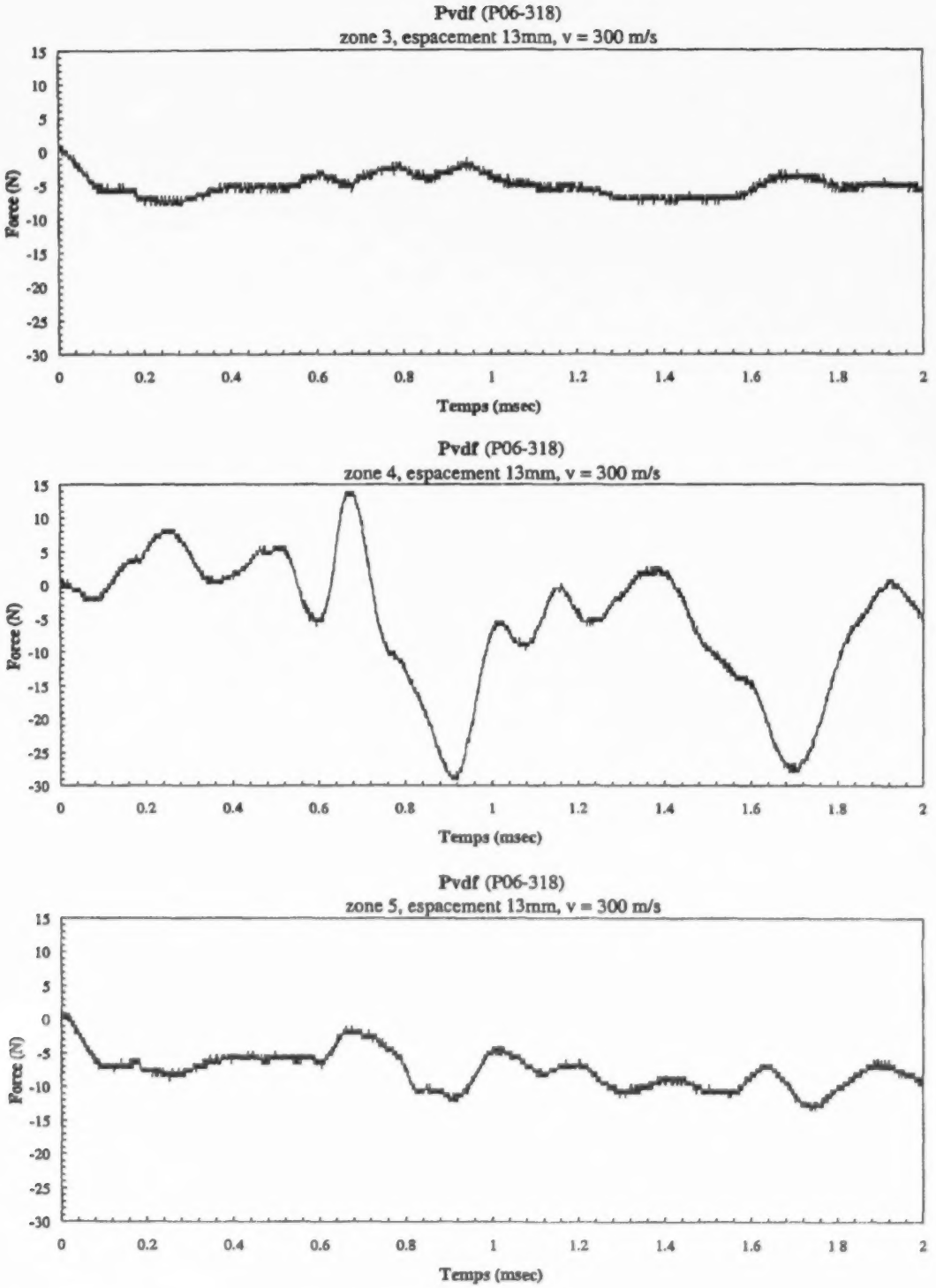

Force de contact plaque P03-315



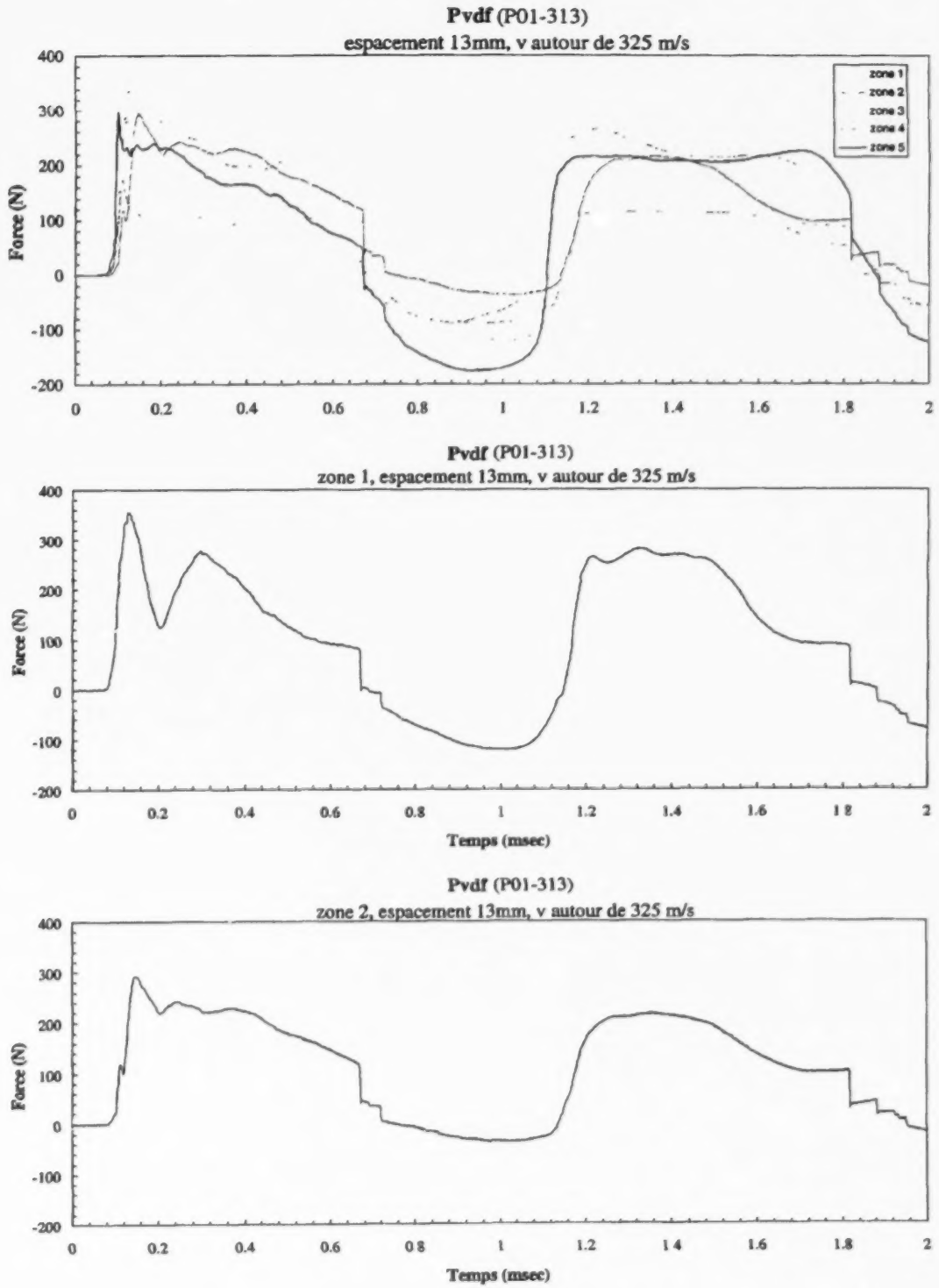

Force de contact plaque P03-315



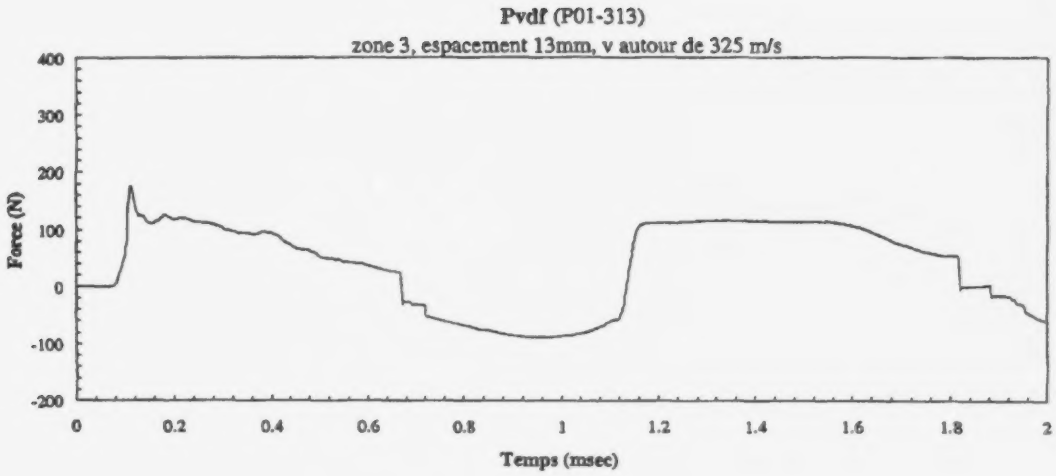

Force de contact plaque P06-318

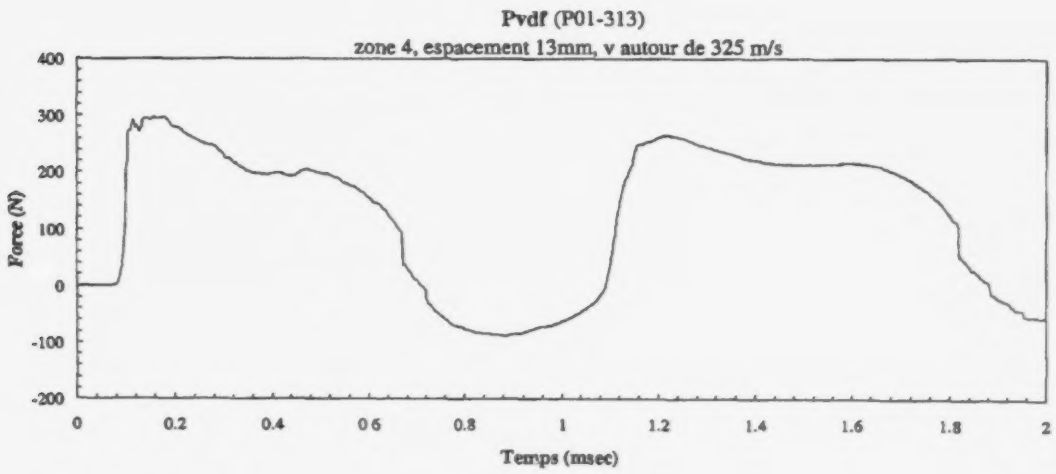


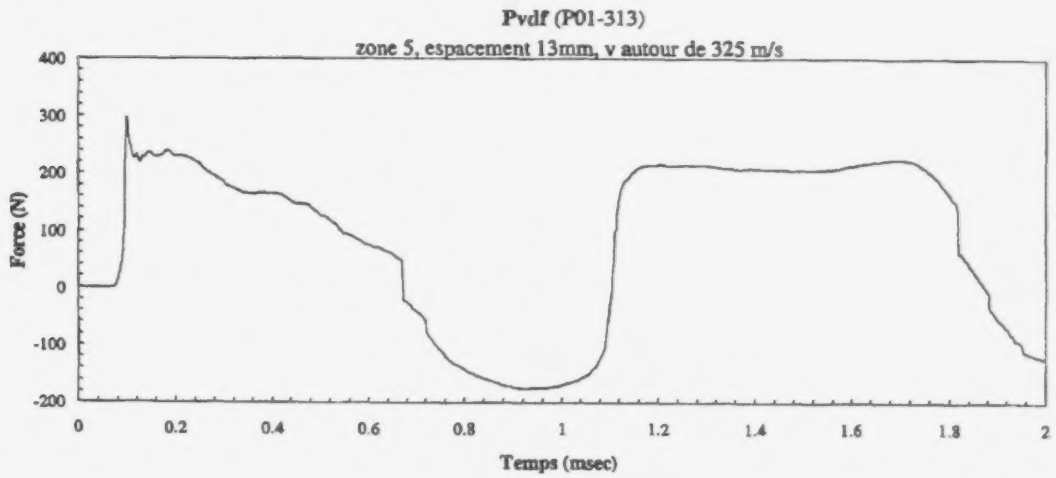

Force de contact plaque P06-318



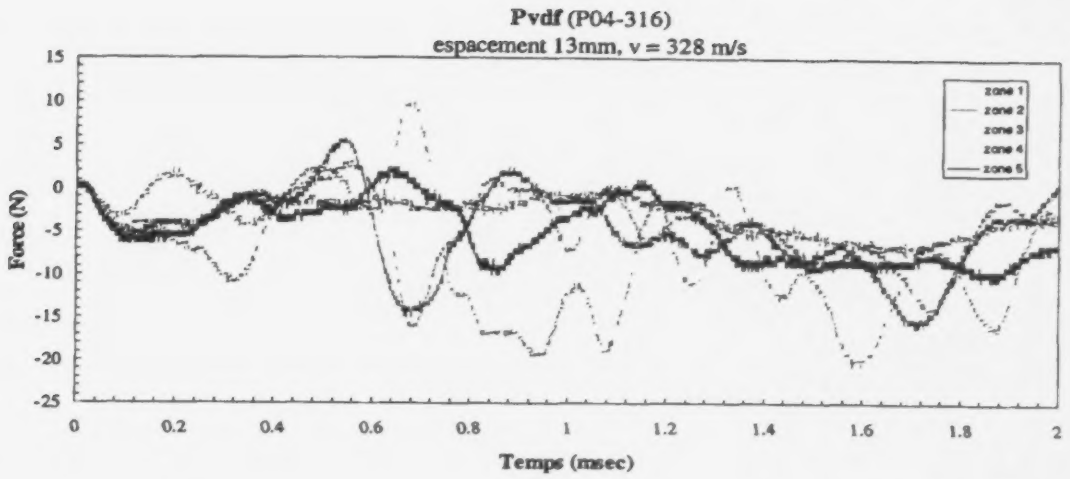

Force de contact plaque P01-313

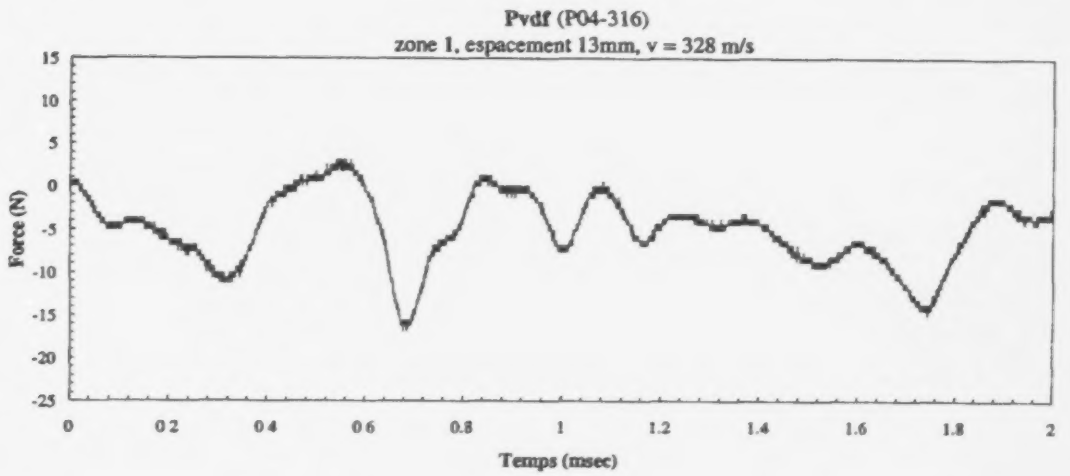


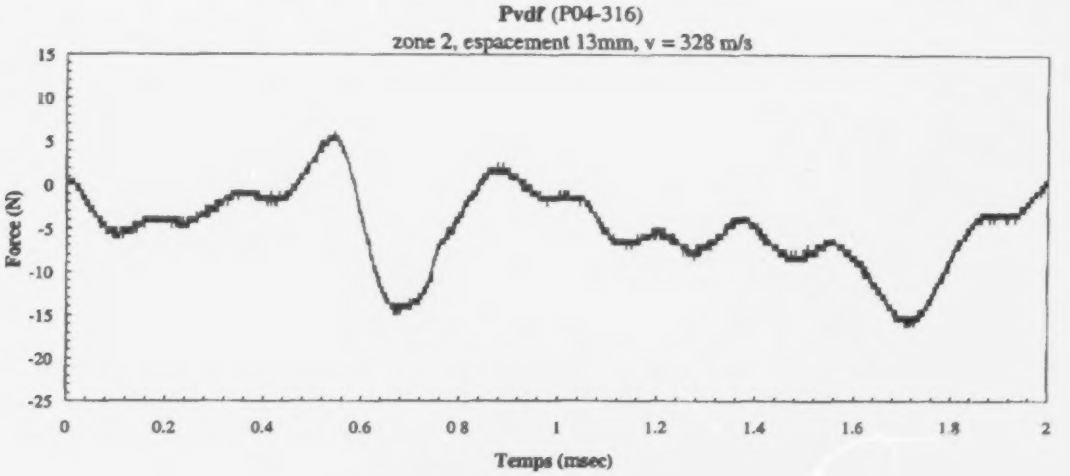



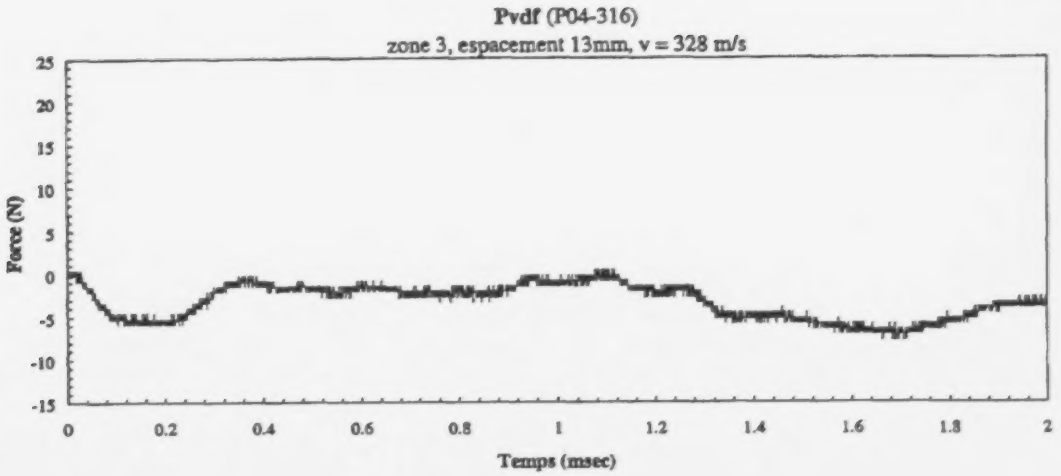

Force de contact plaque P01-313

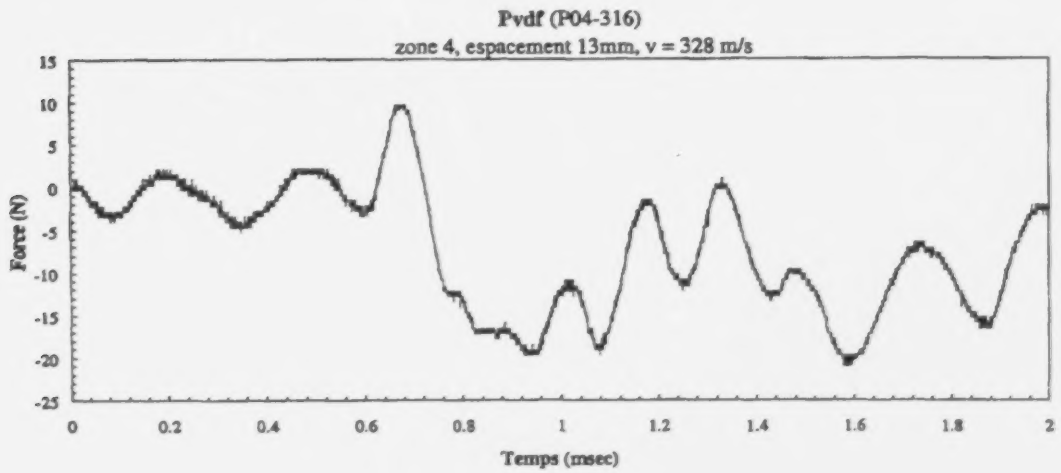


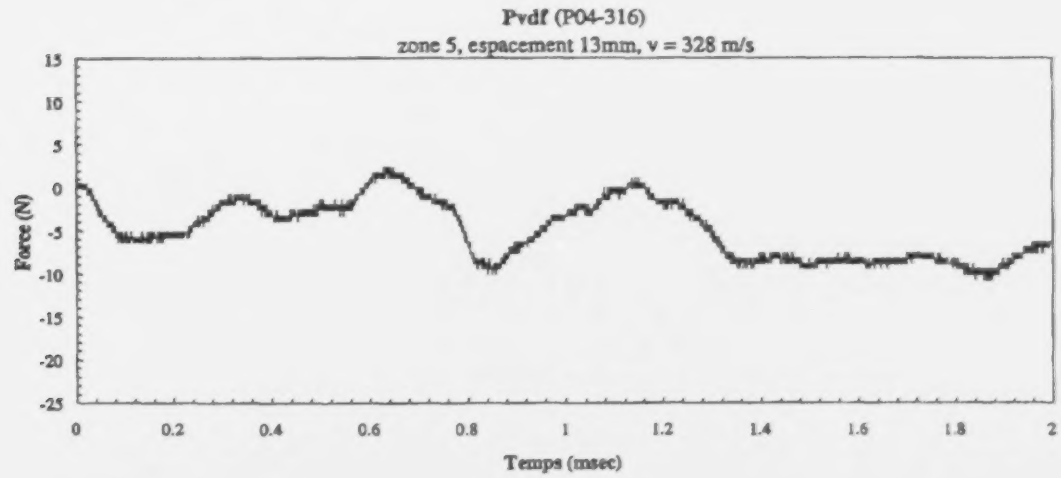



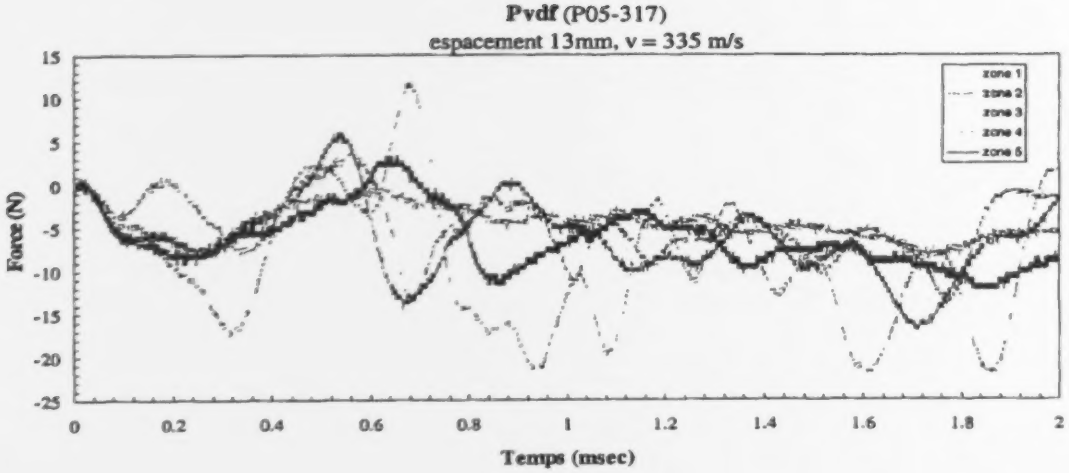

Force de contact plaque P04-316

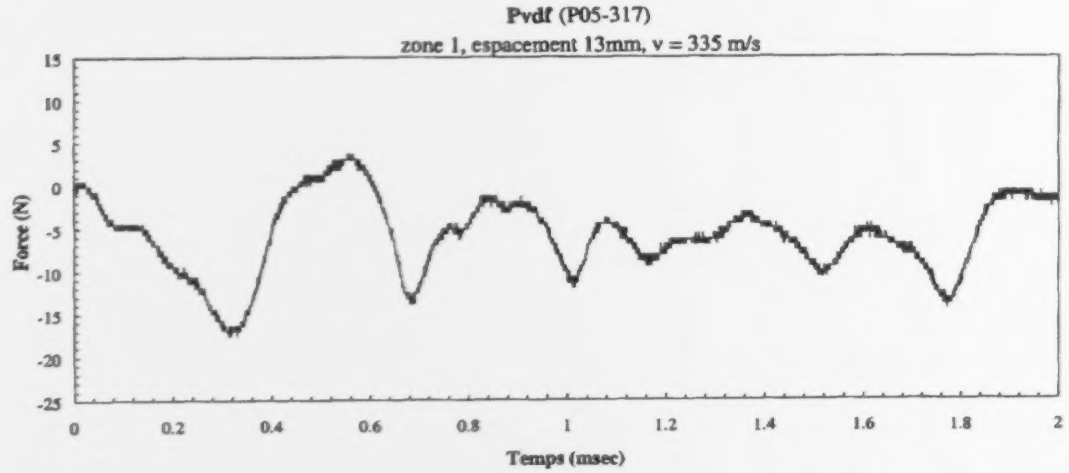


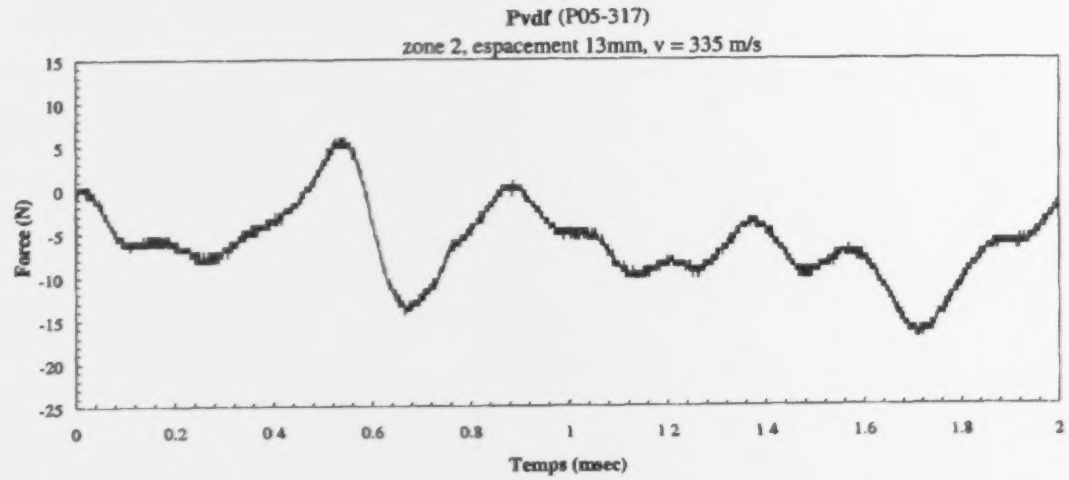



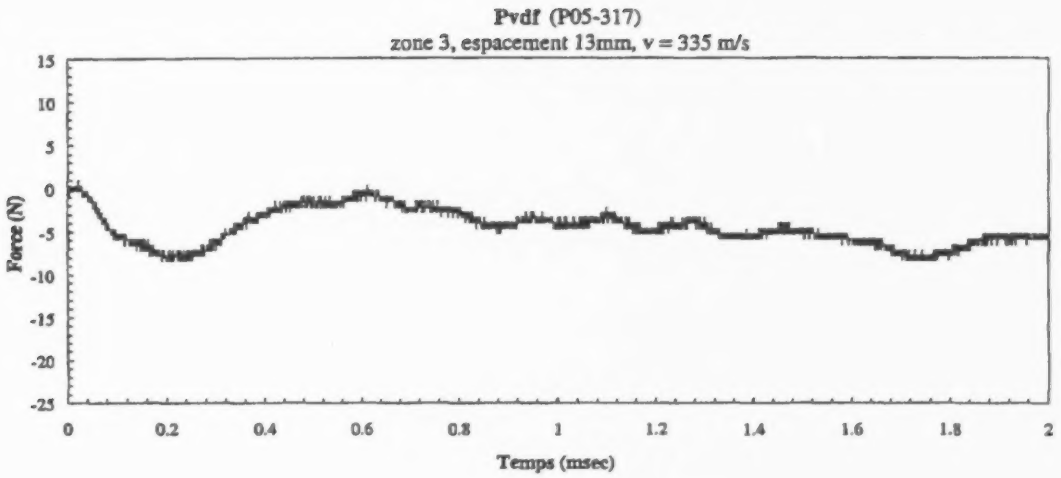

Force de contact plaque P04-316

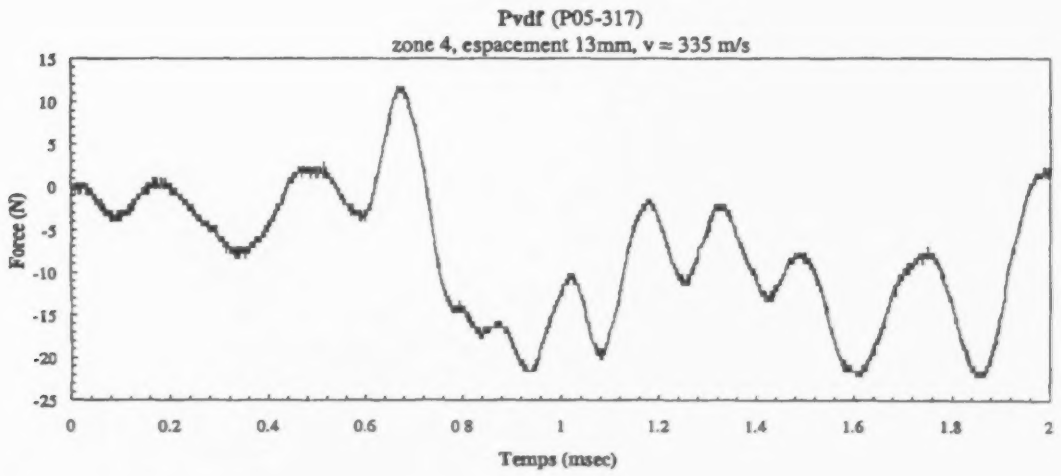


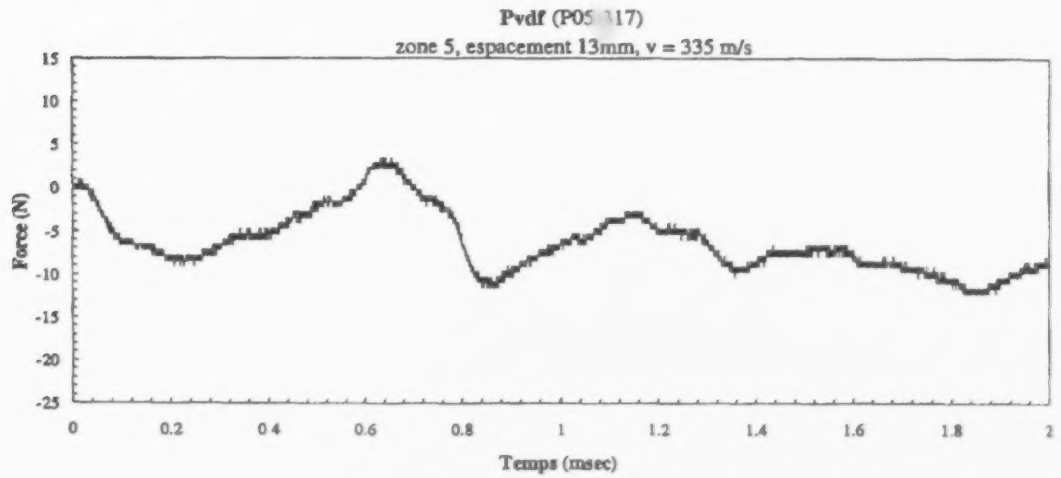



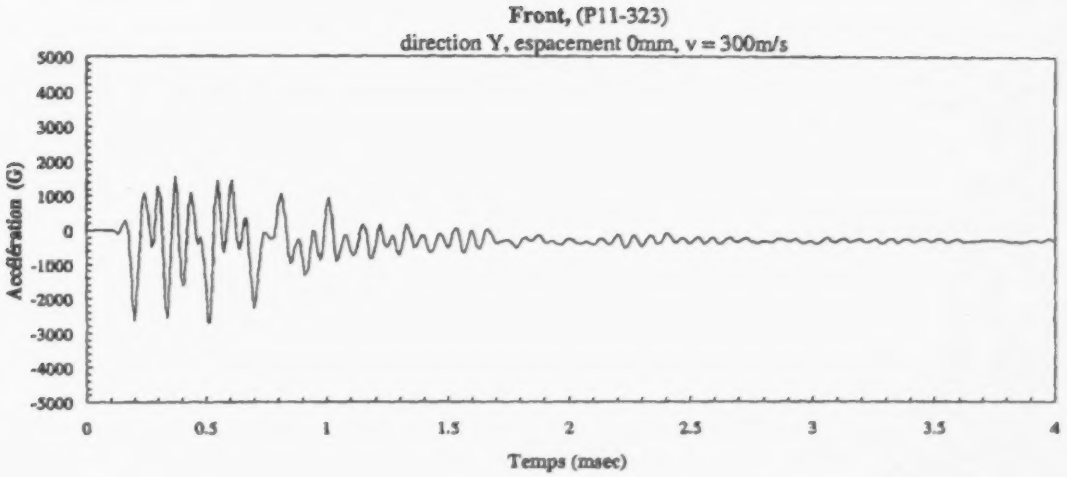

Force de contact plaque P05-317

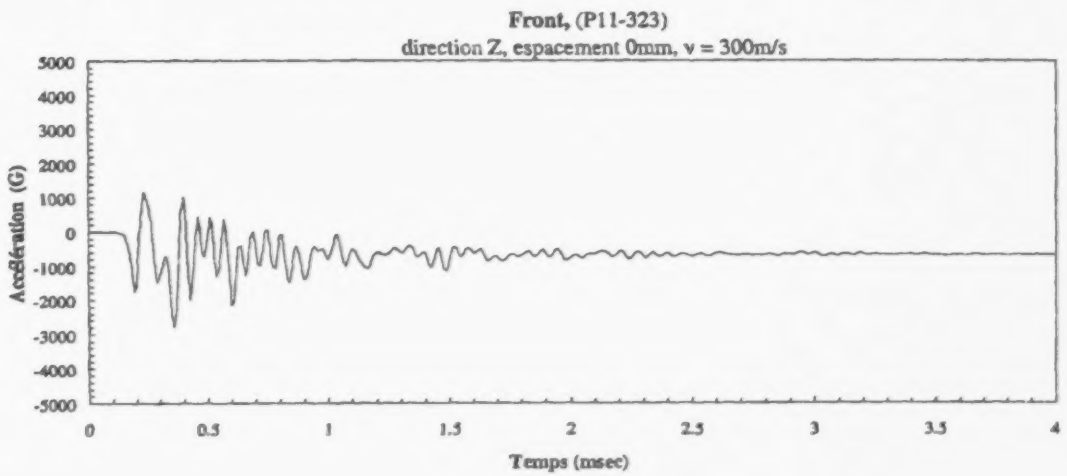


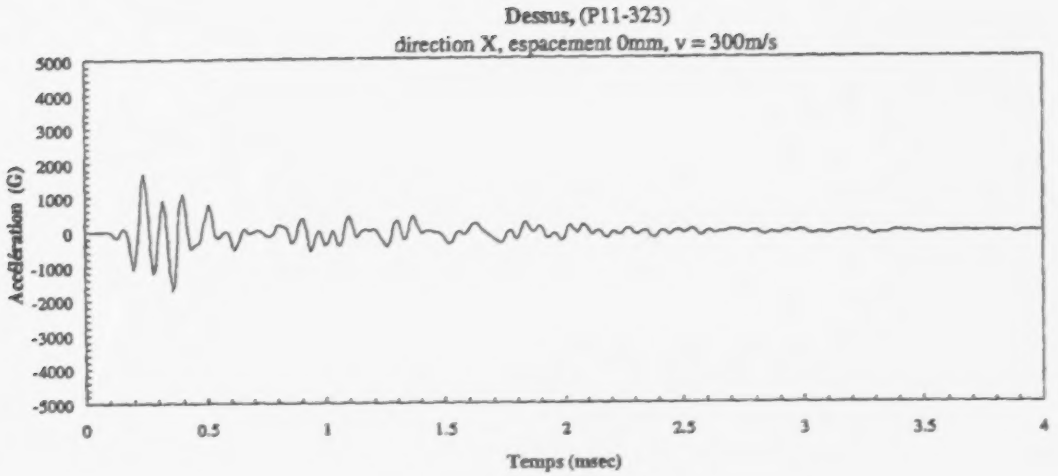



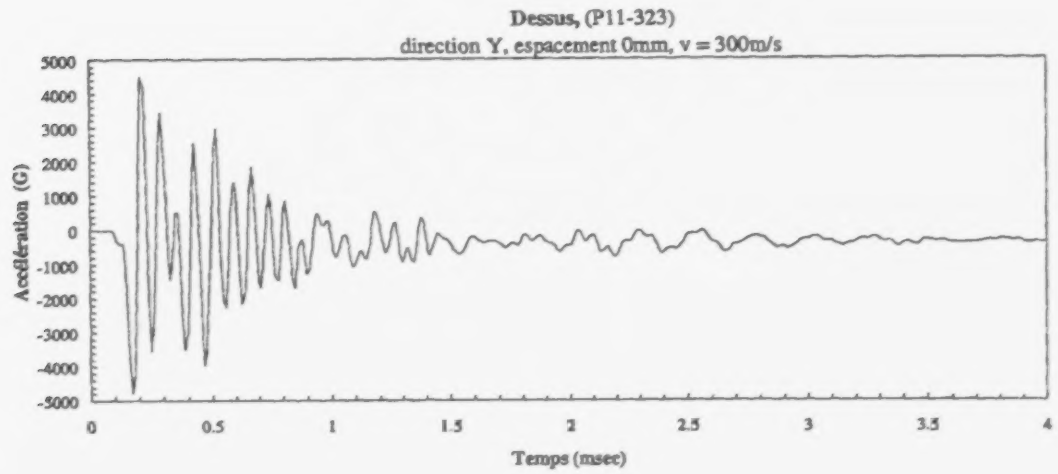

Force de contact plaque P05-317



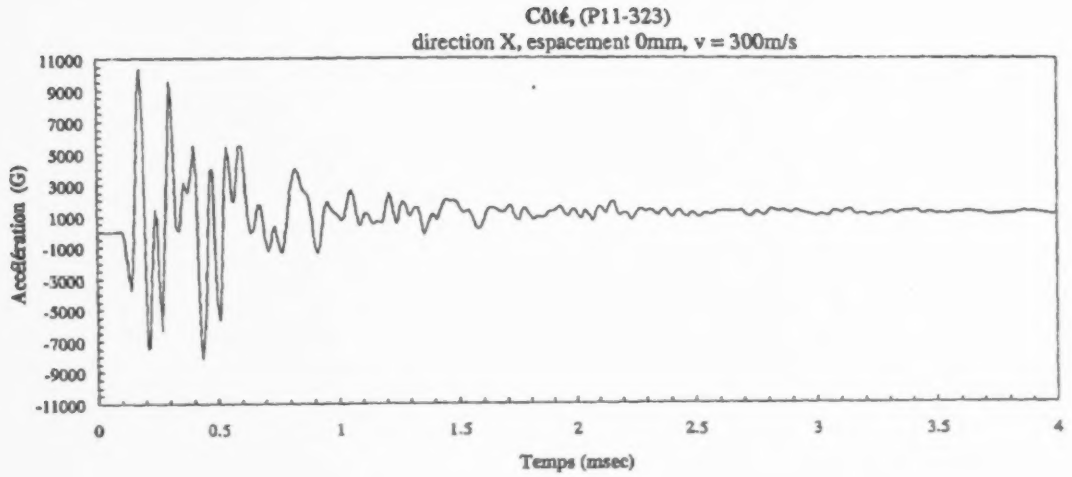



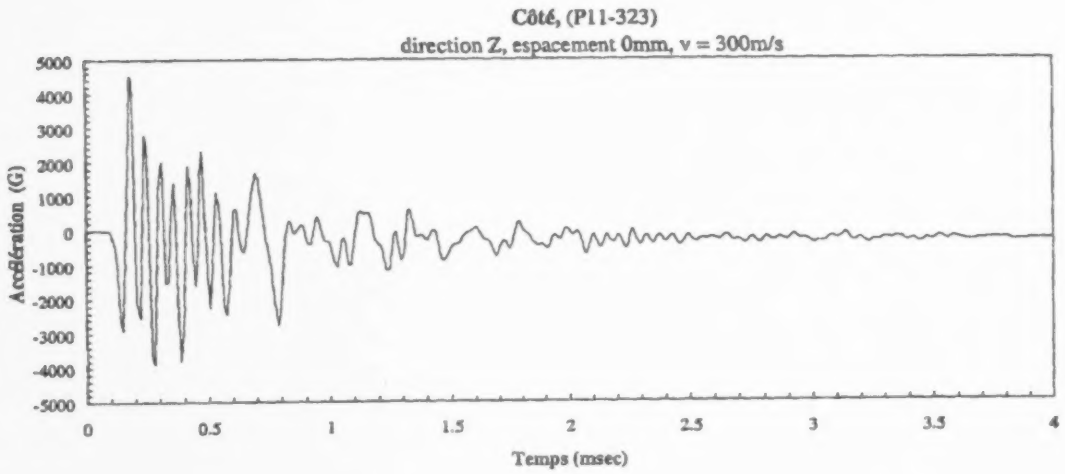

Accélération plaque P11-323



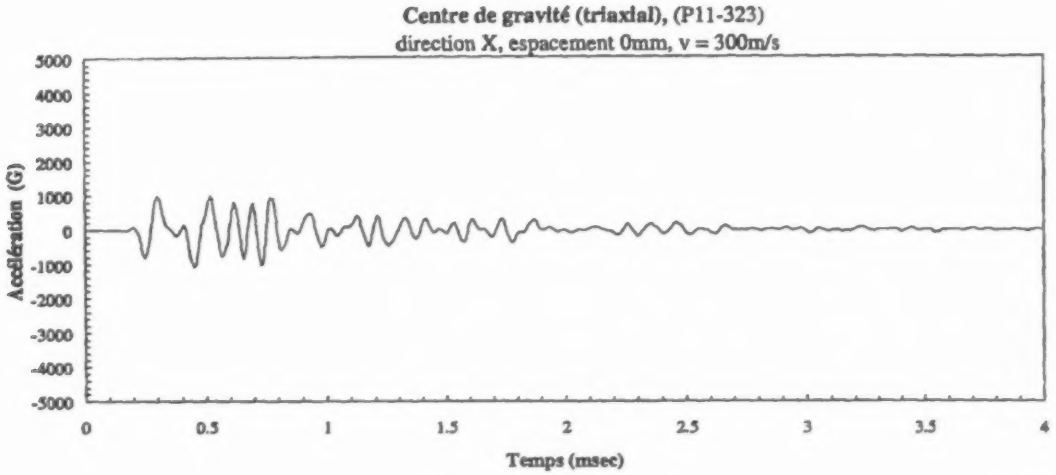



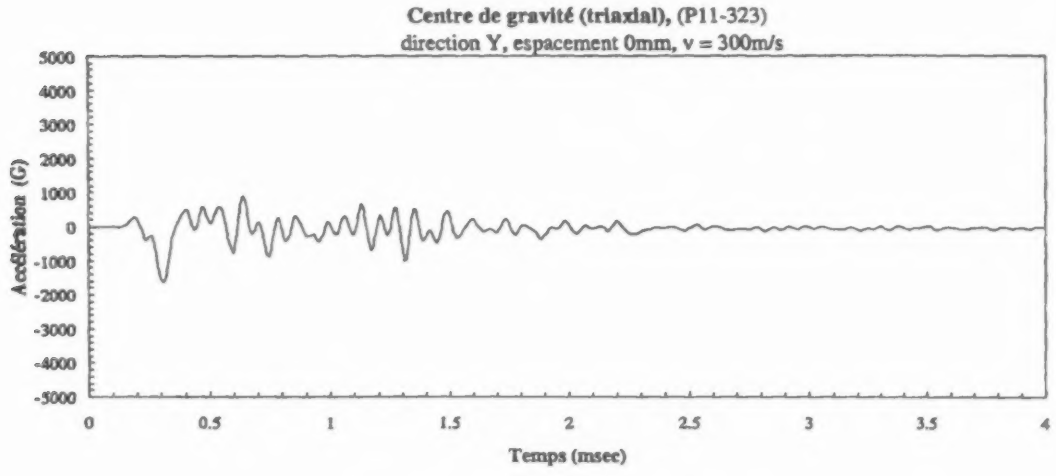

Accélération plaque P11-323

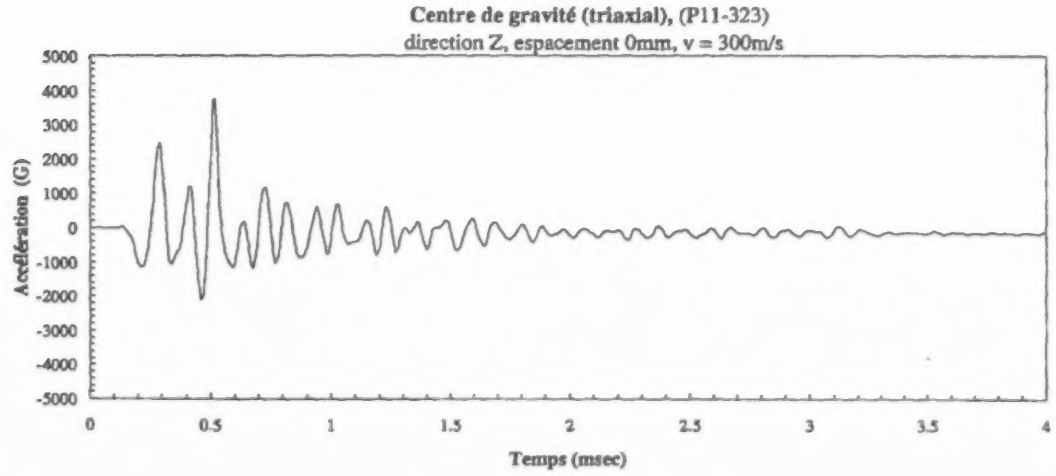


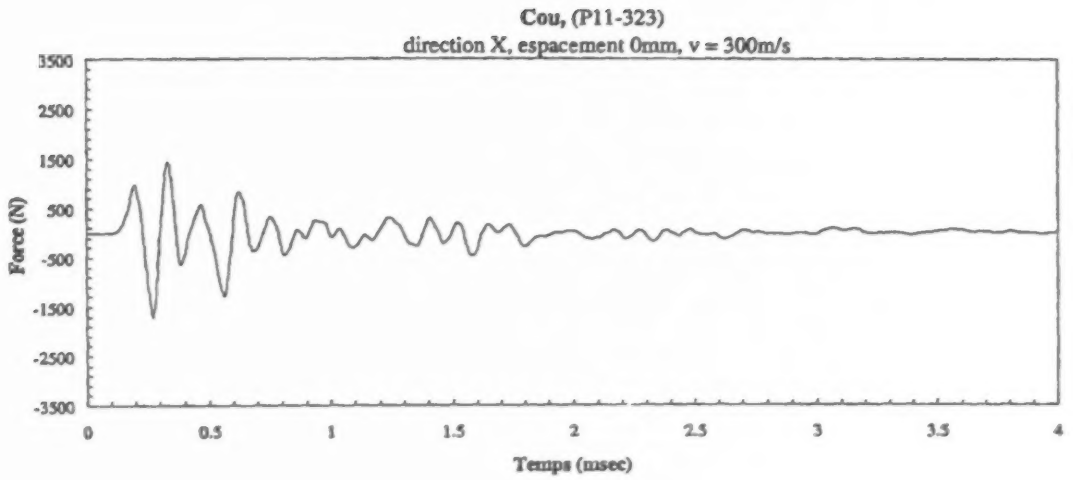

Accélération plaque P11-323

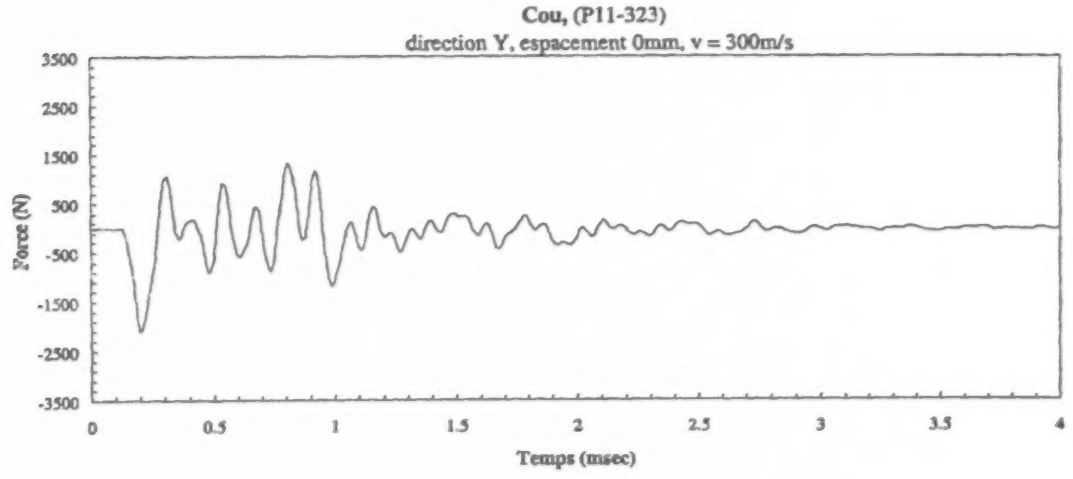


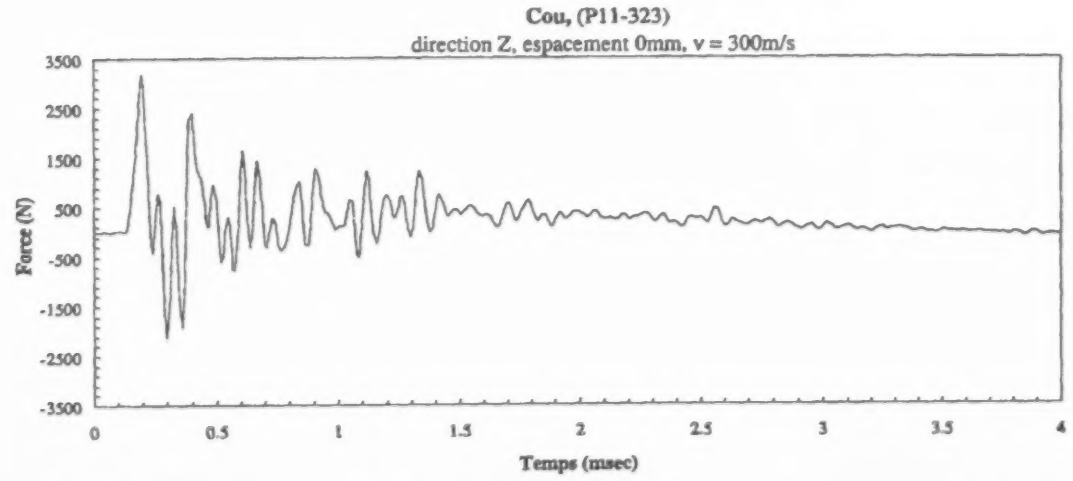



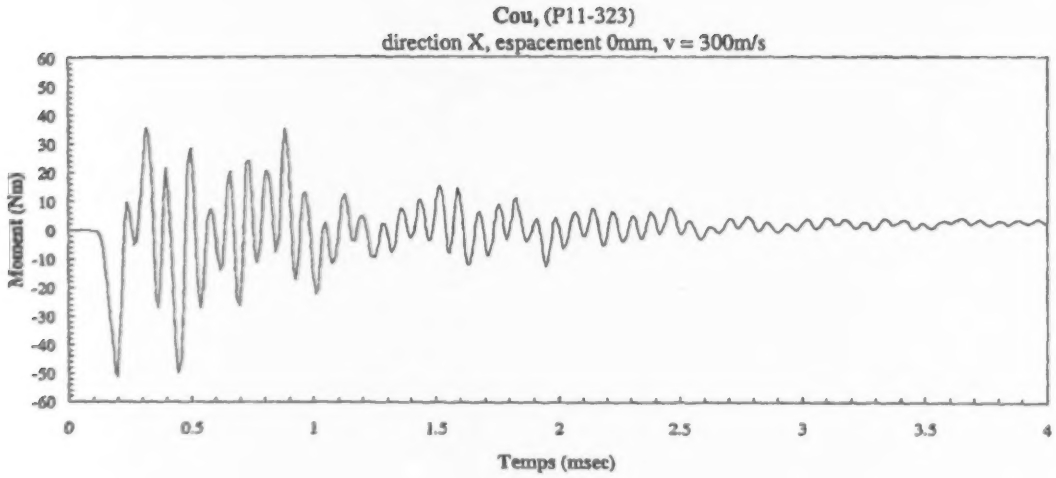

Accélération plaque P11-323

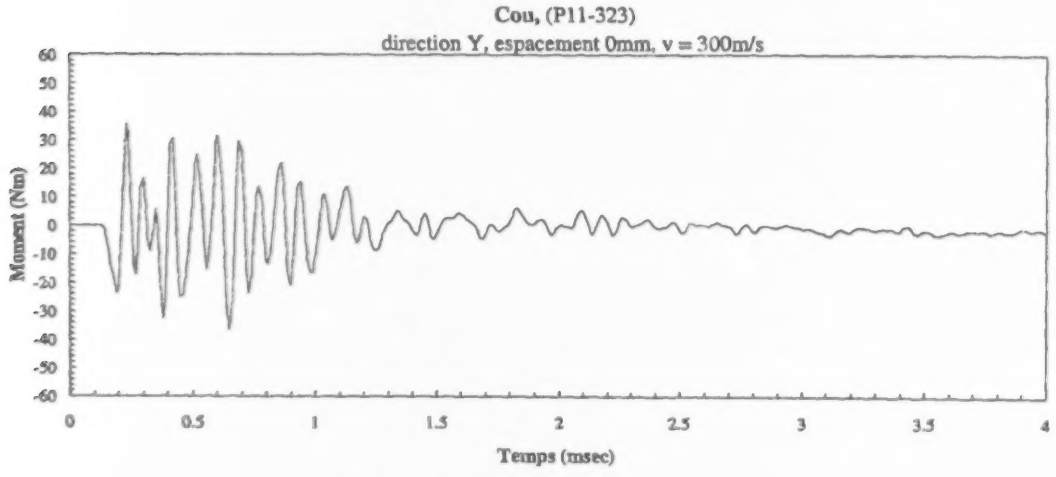


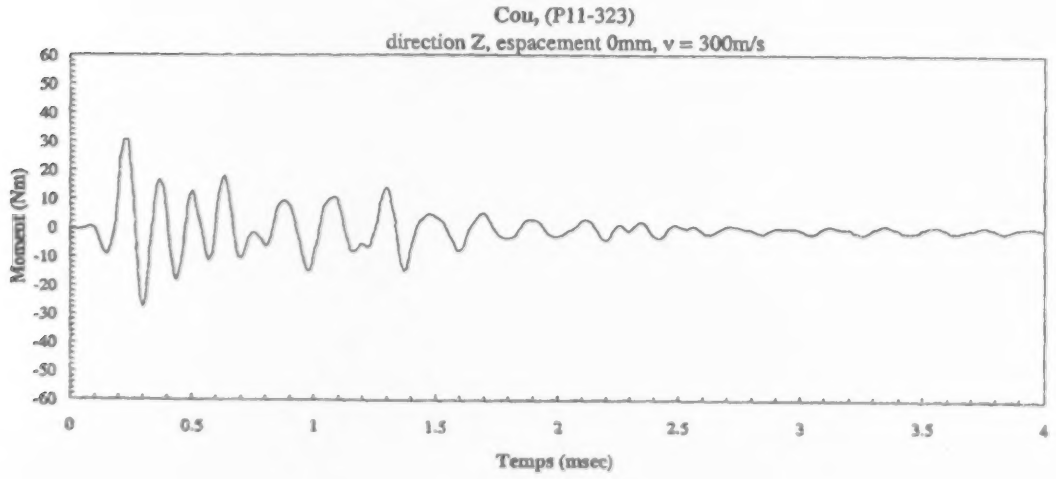



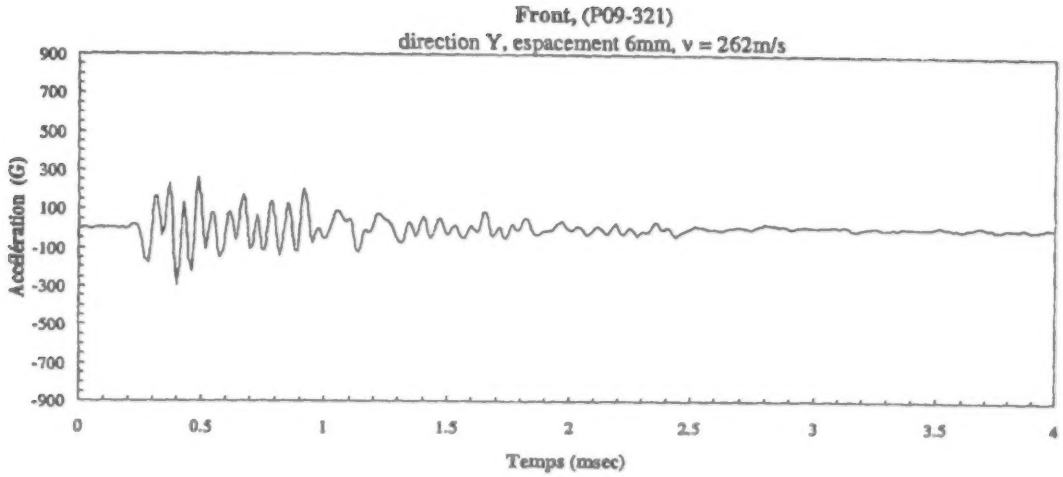

Accélération plaque P11-323

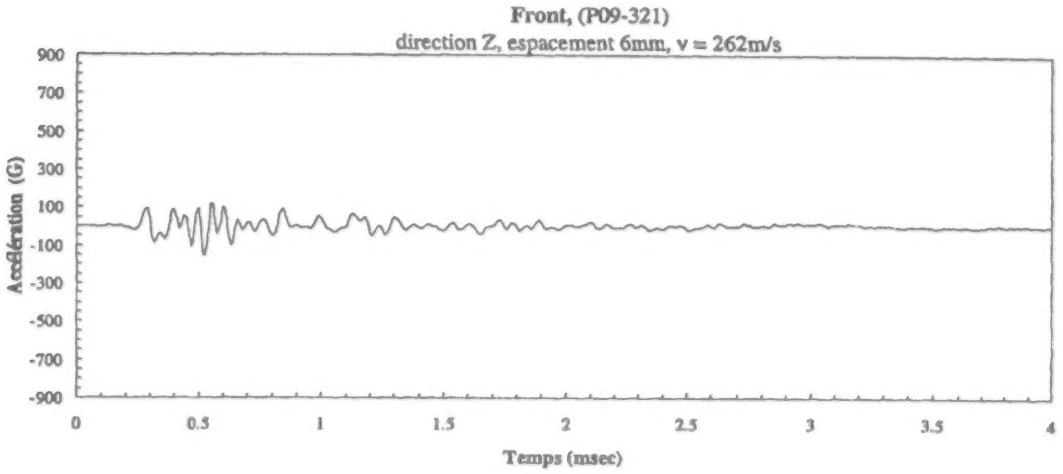


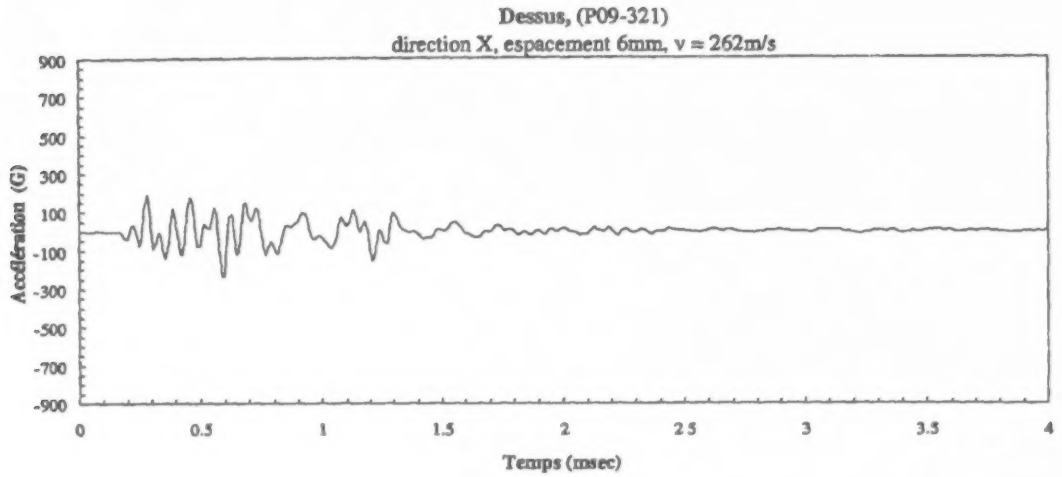



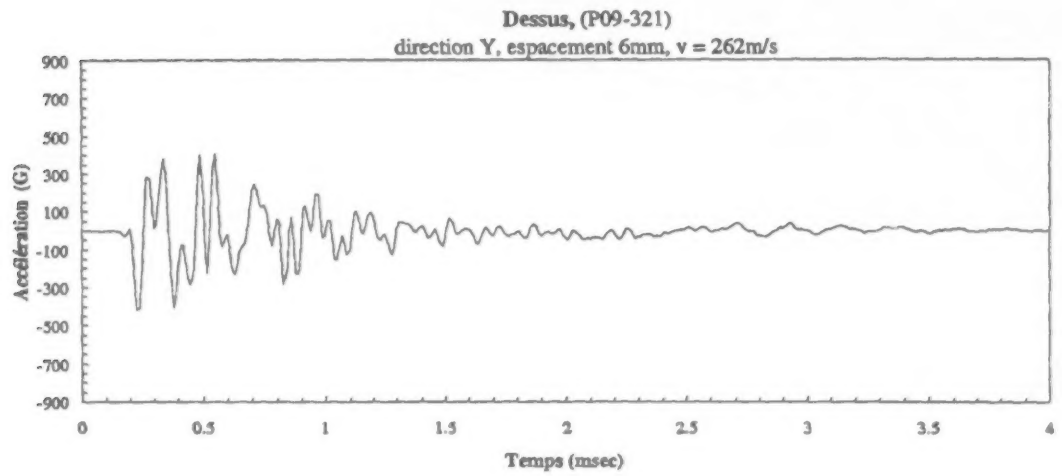

Accélération plaque P11-323



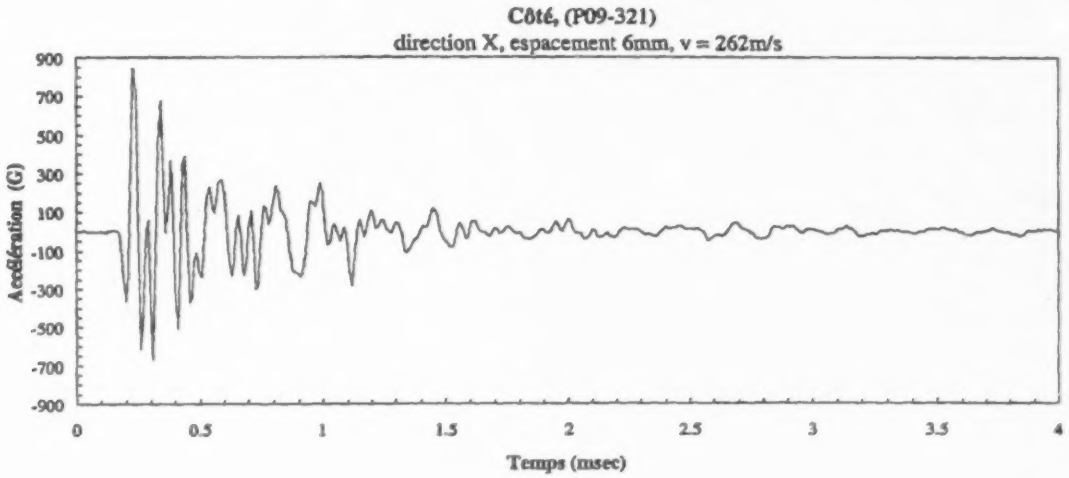



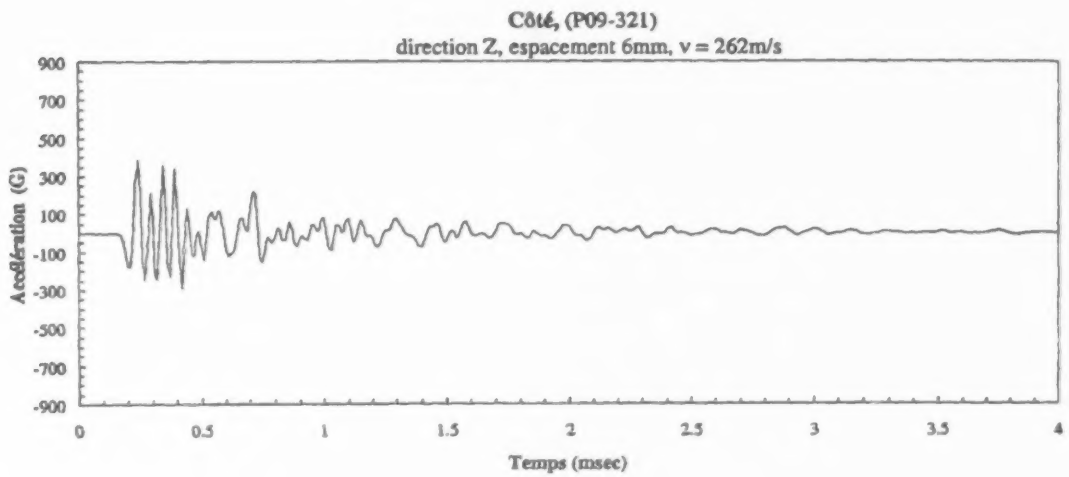

Accélération plaque P09-321



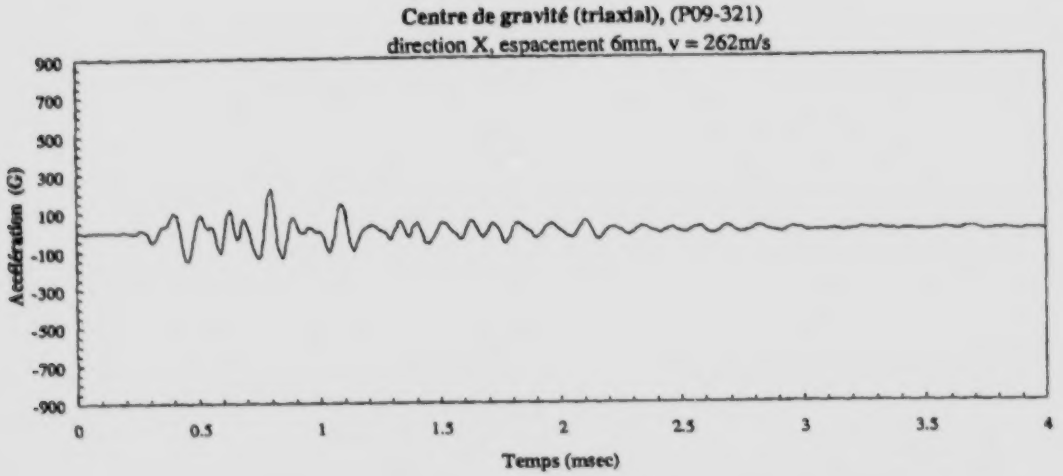



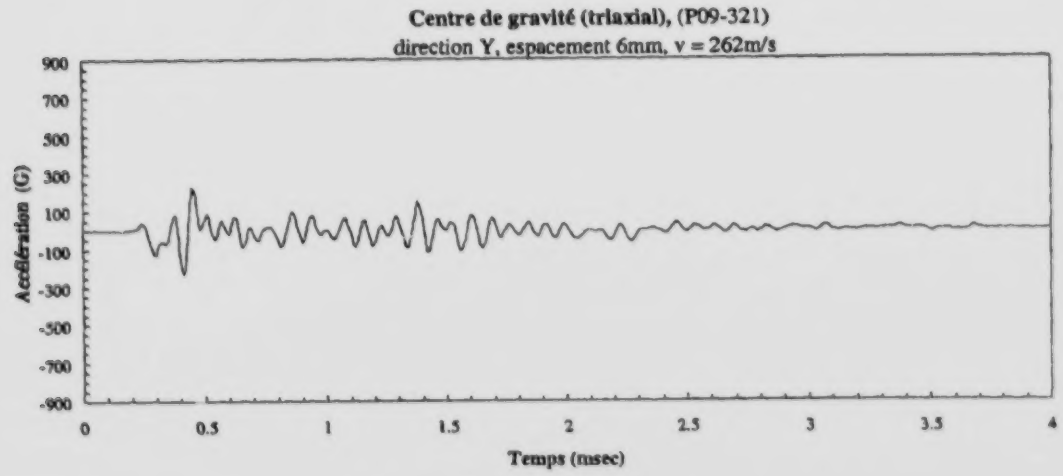

Accélération plaque P09-321

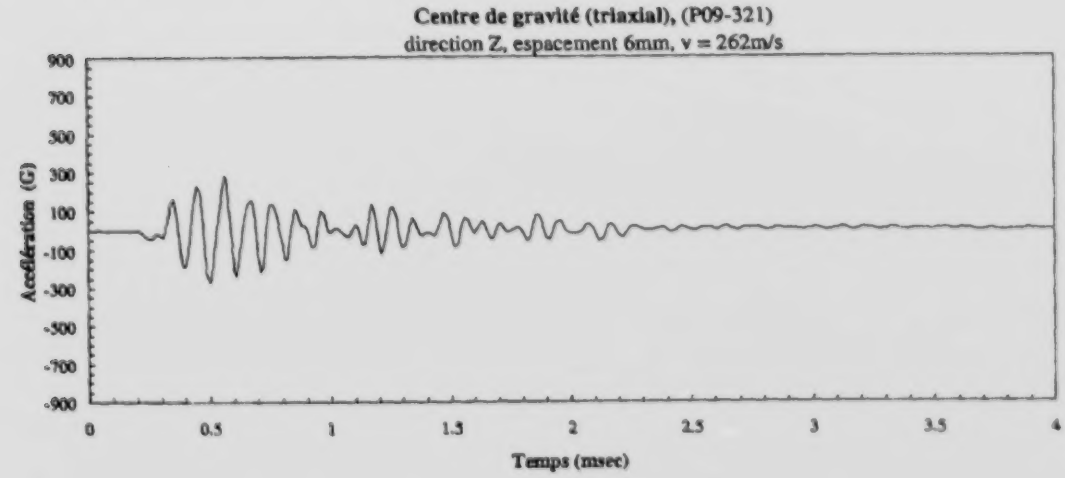


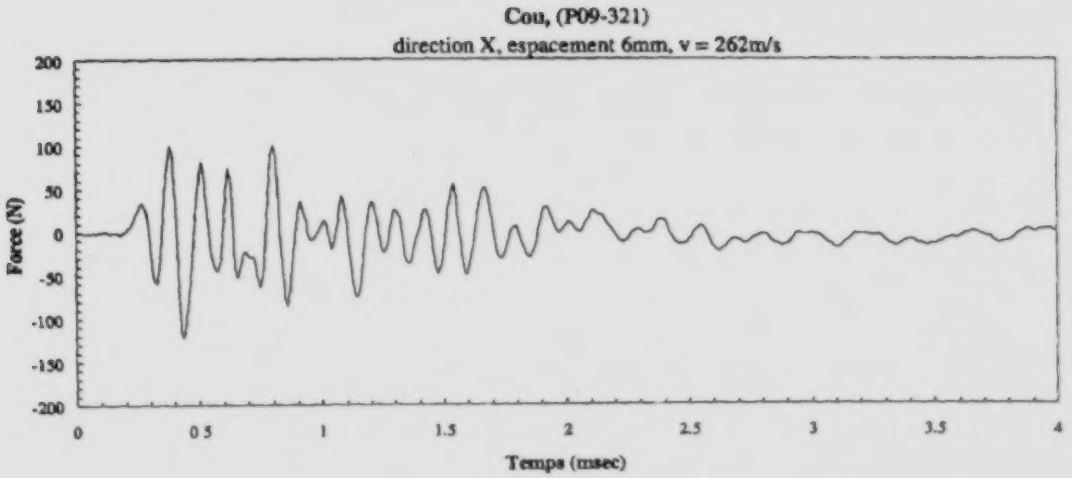

Accélération plaque P09-321

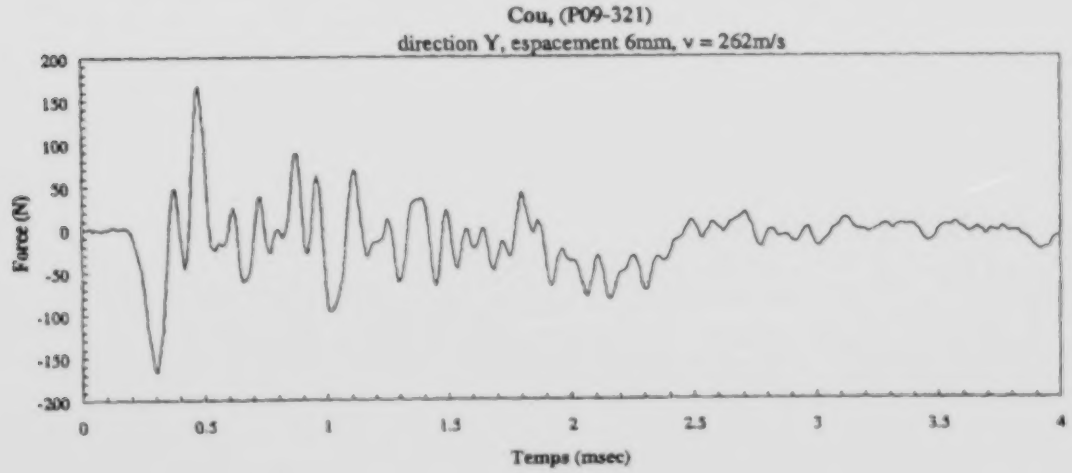


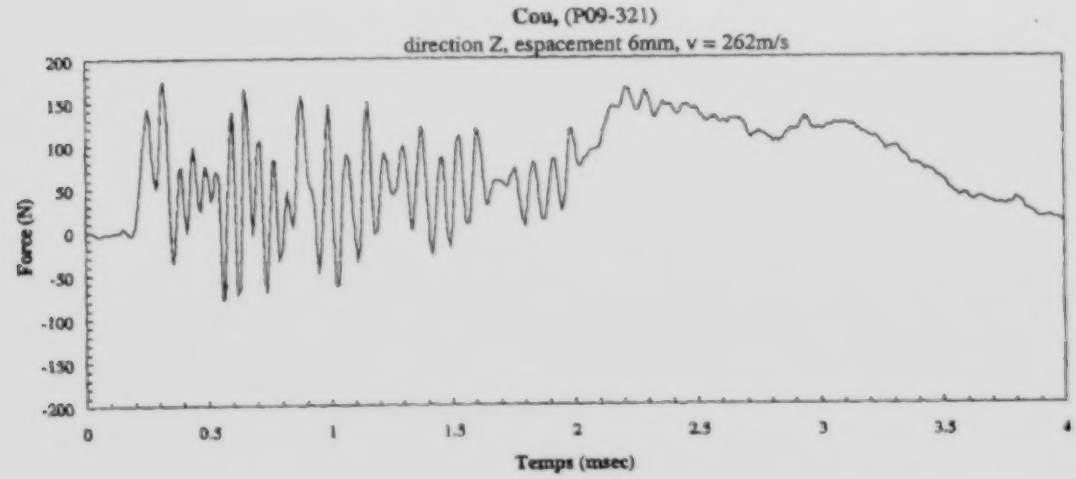



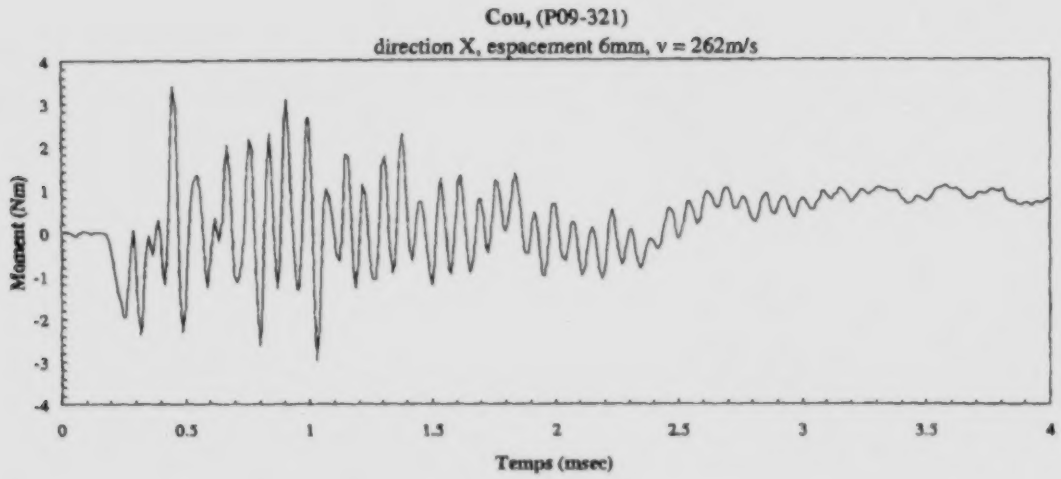

Accélération plaque P09-321

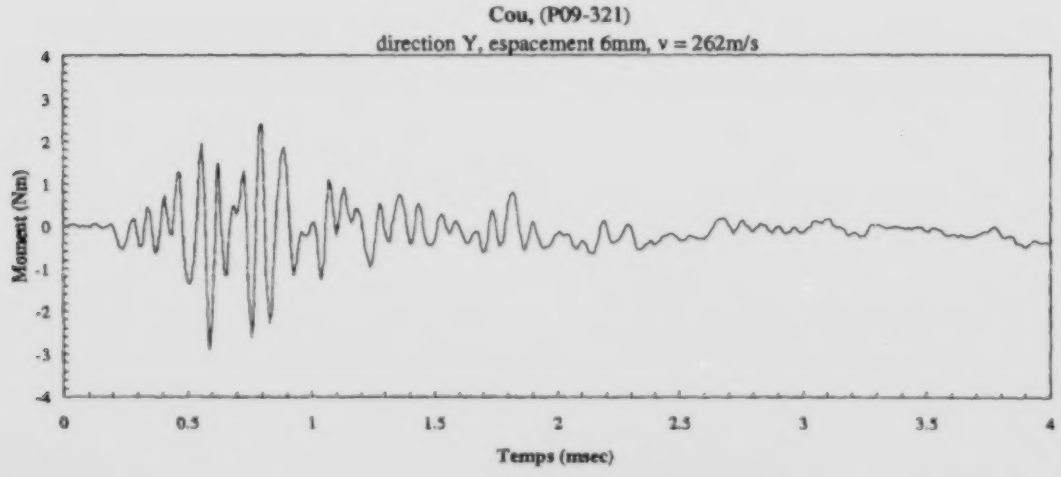


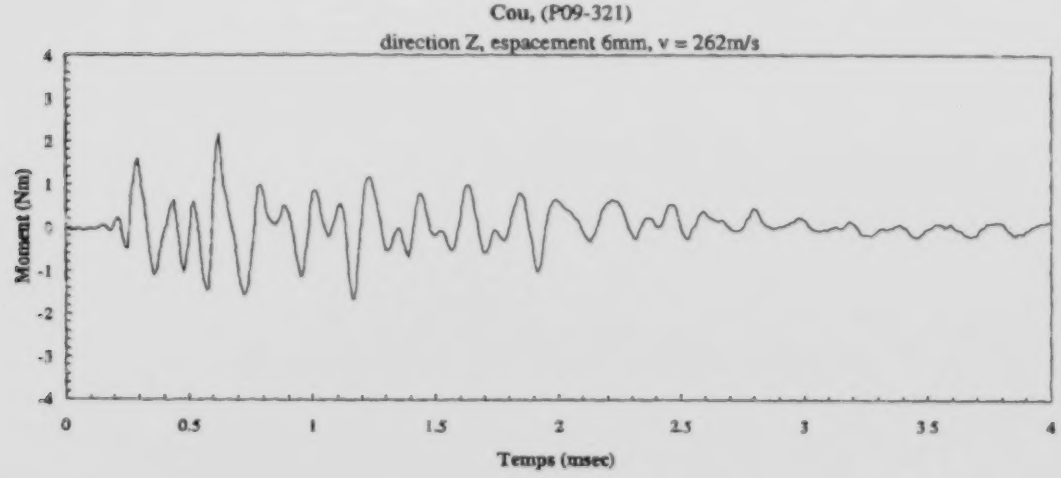



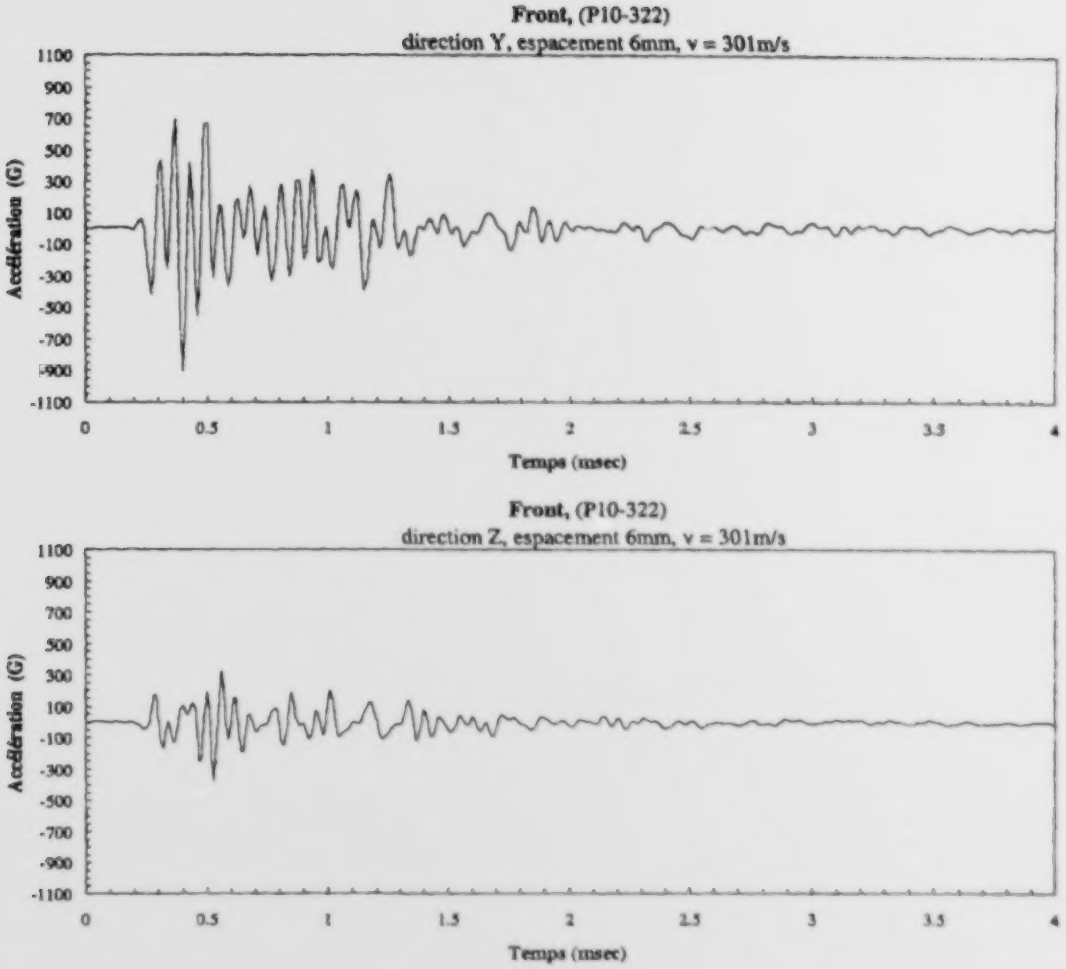

Accélération plaque P09-321



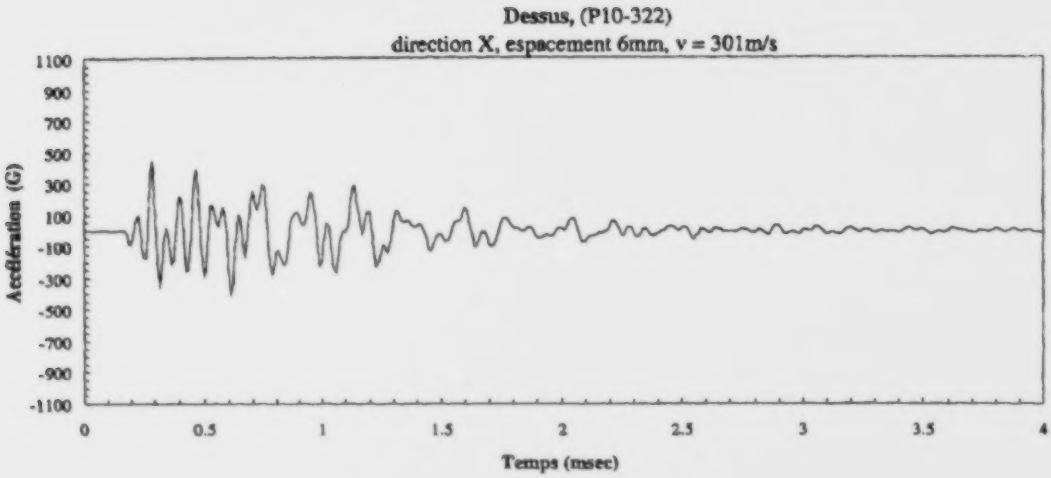



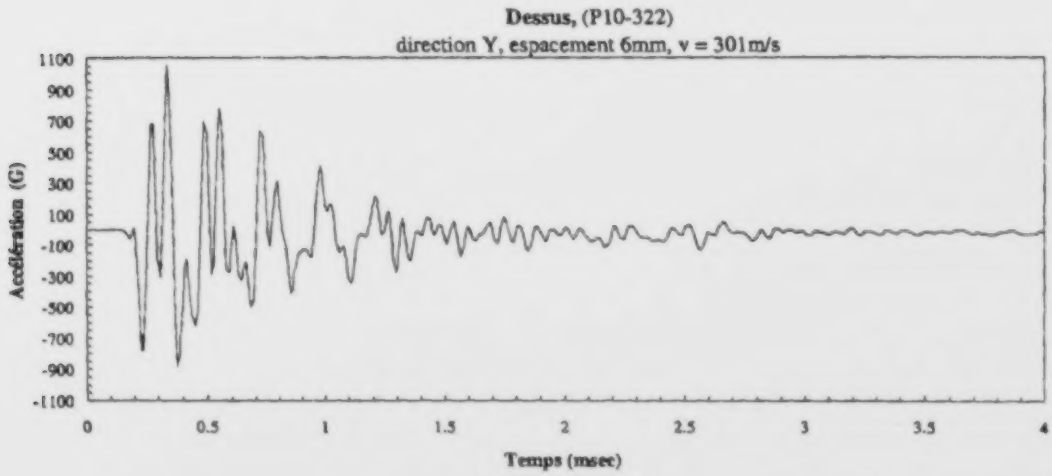




Accélération plaque P09-321

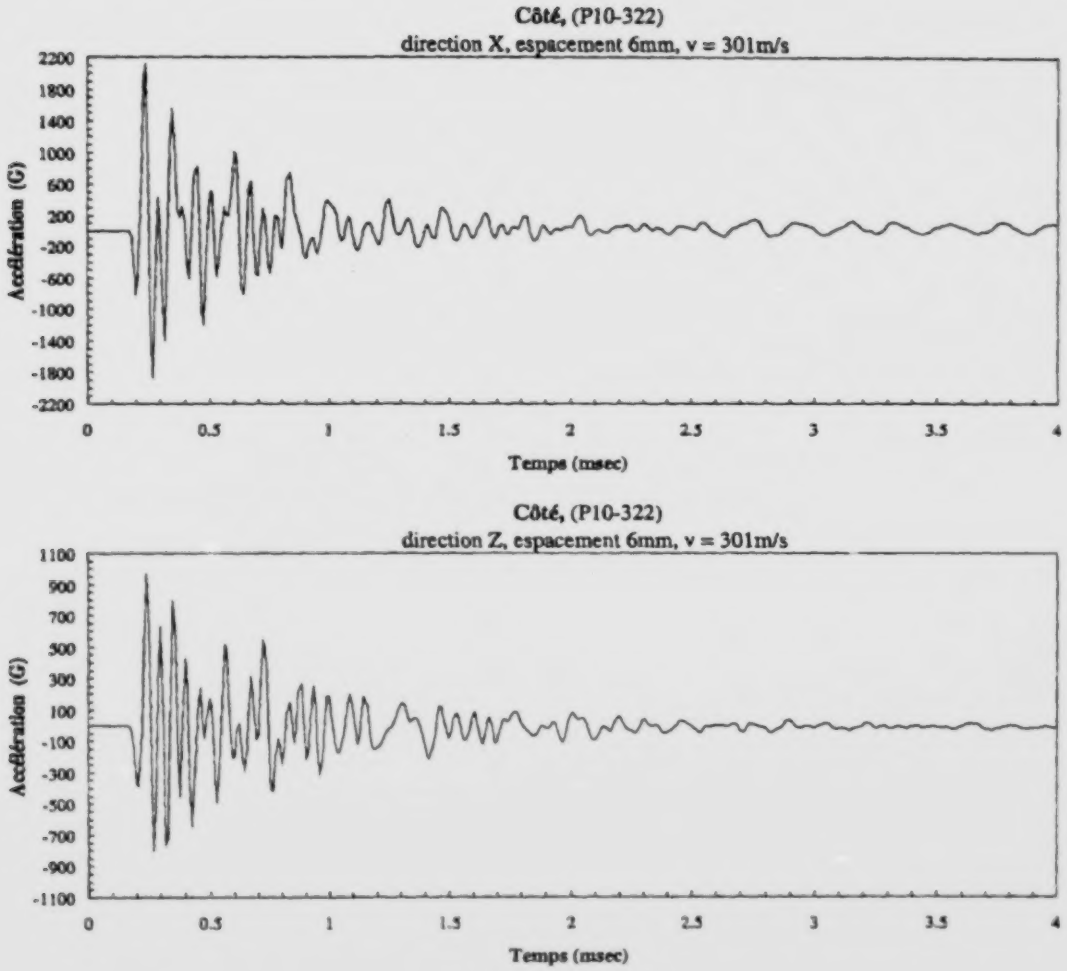



Accélération plaque P10-322

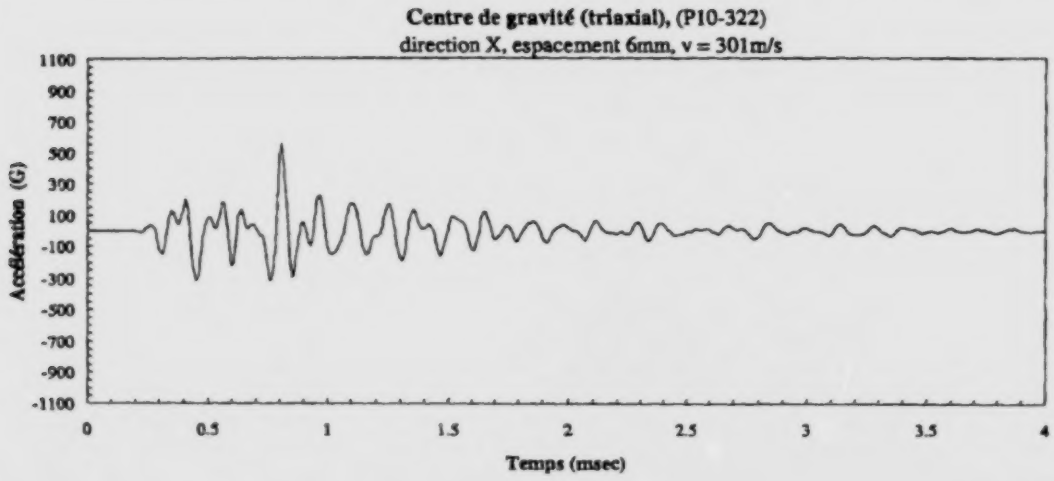


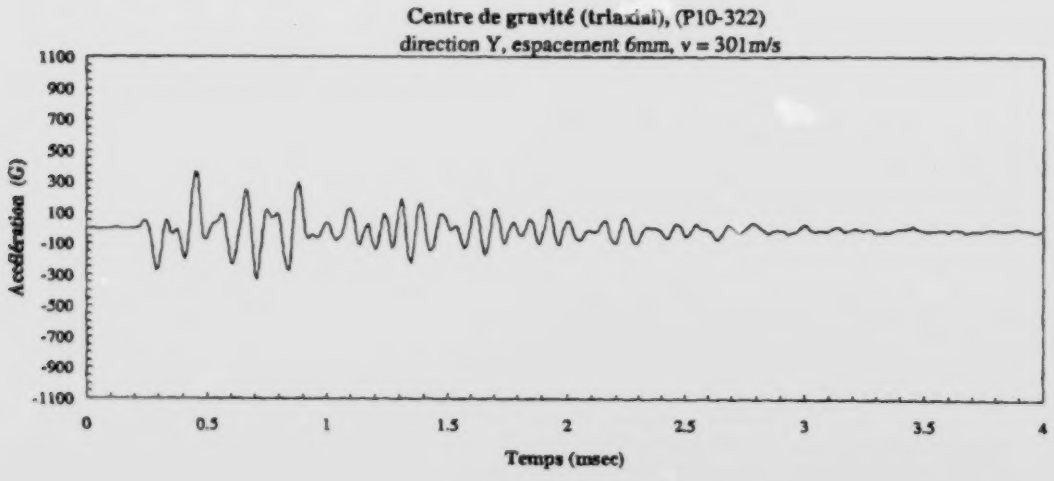



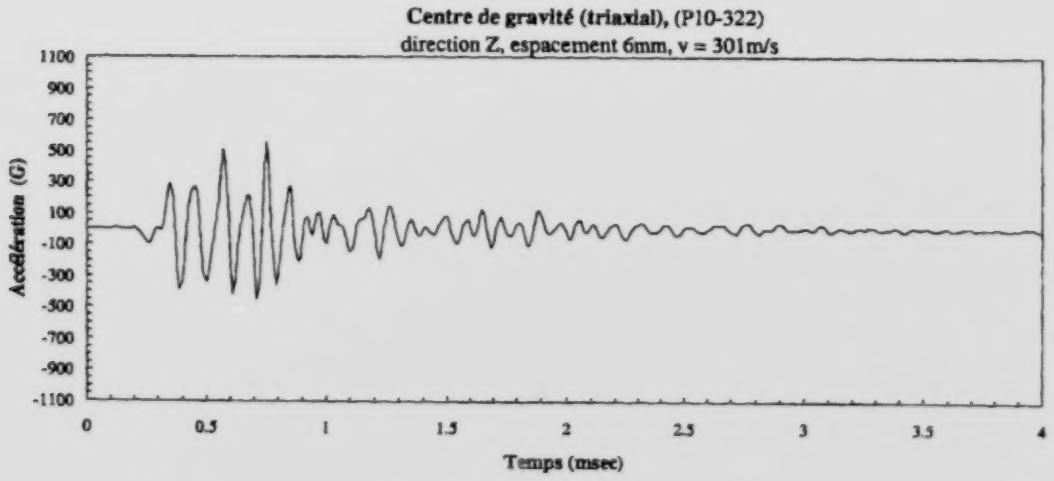

Accélération plaque P10-322



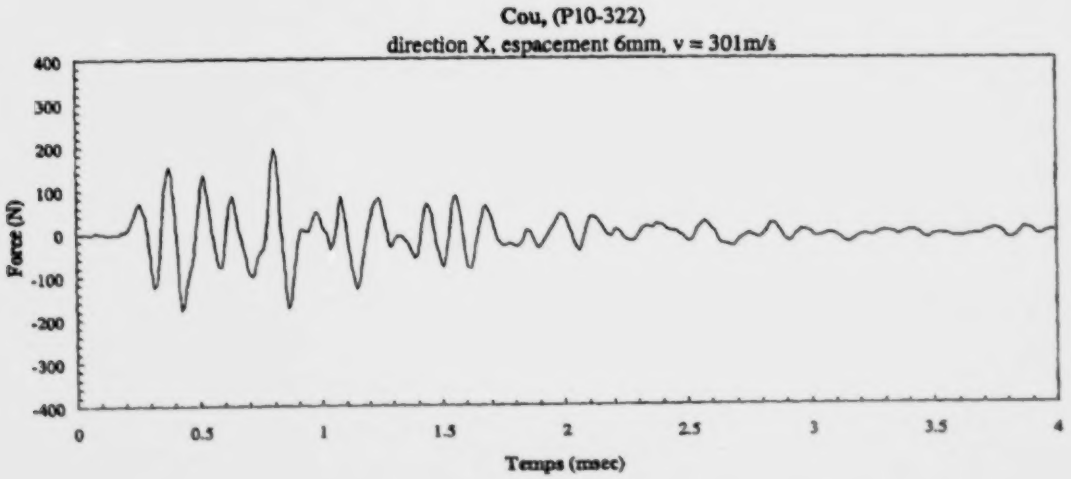

Accélération plaque P10-322

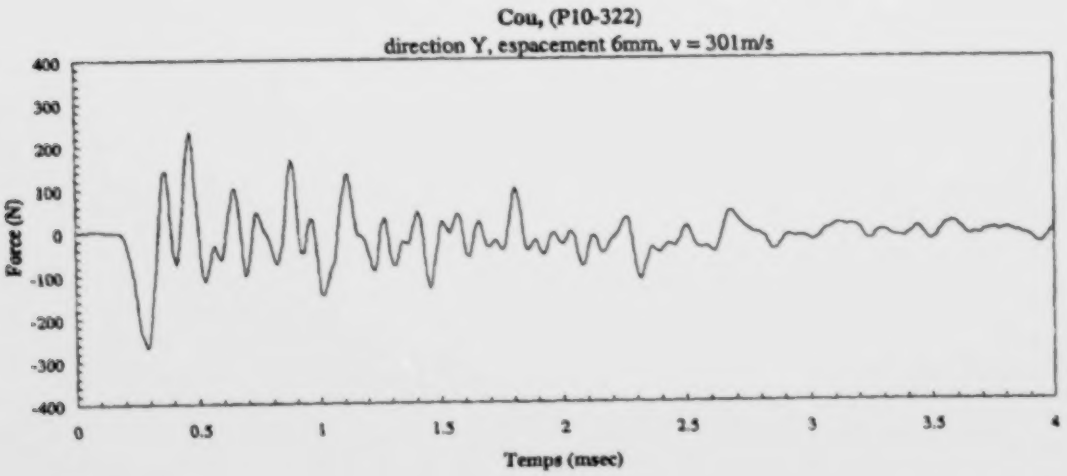


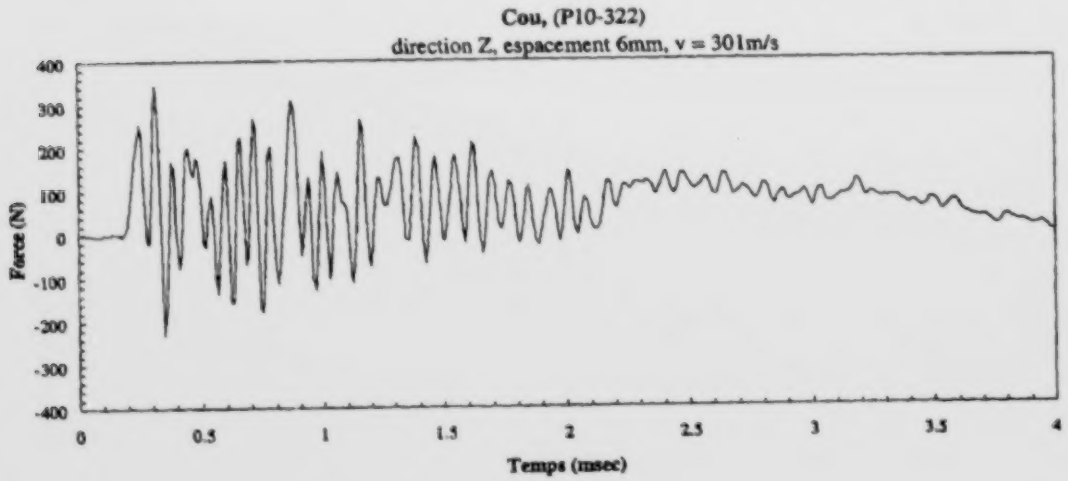



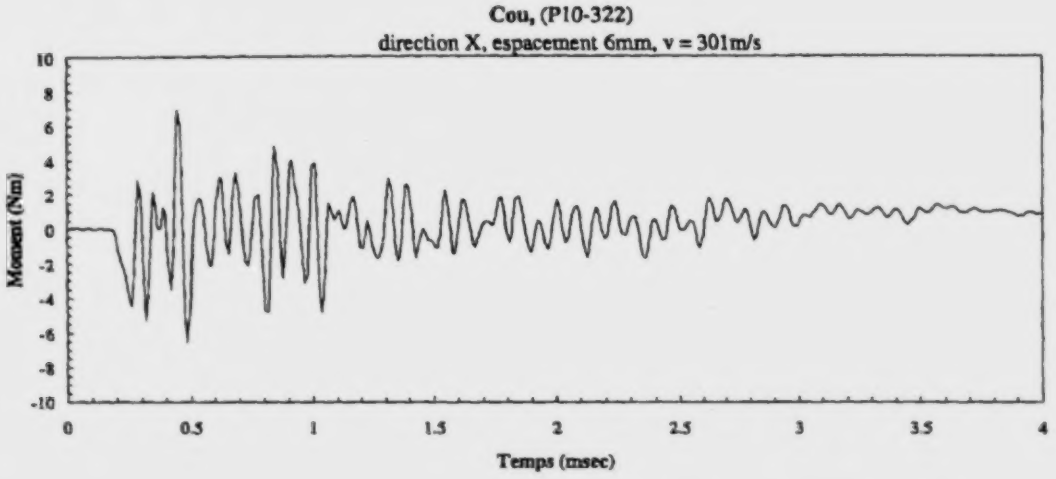

Accélération plaque P10-322

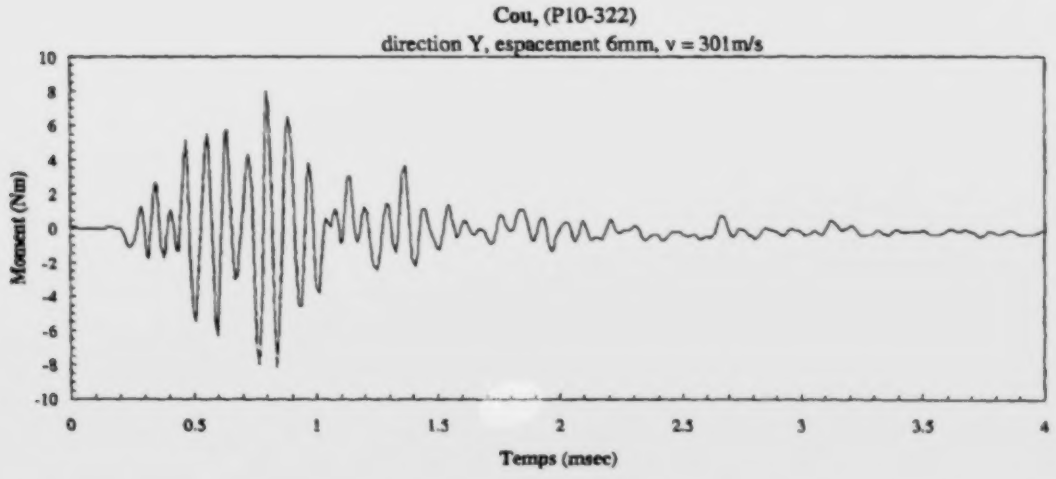


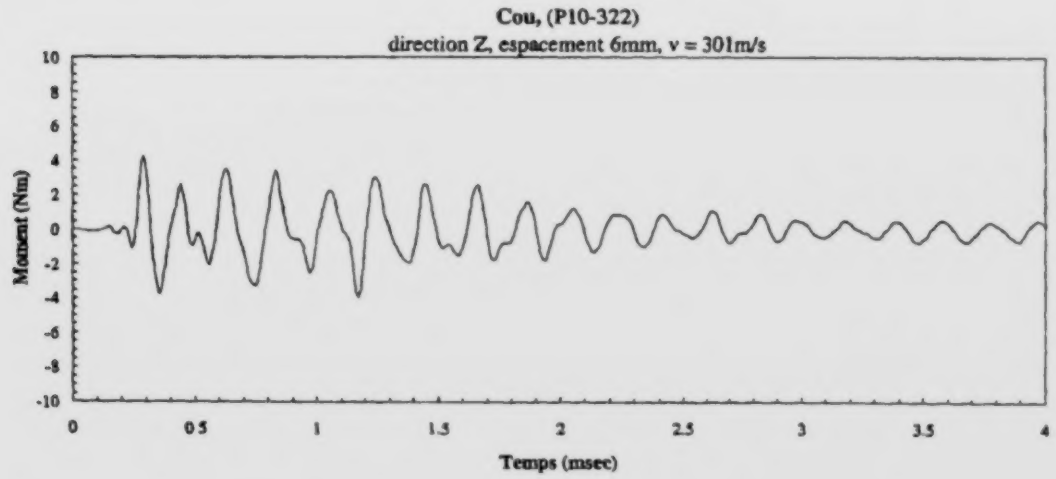



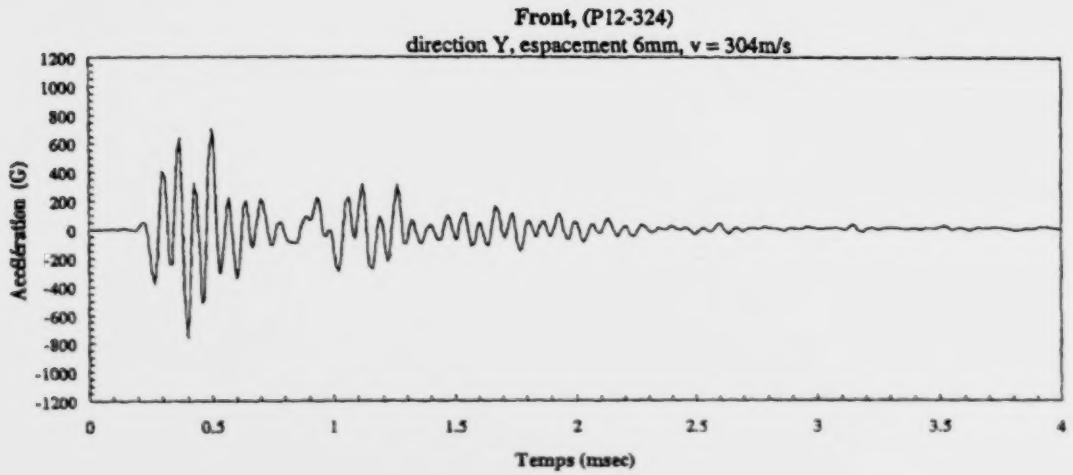

Accélération plaque P10-322

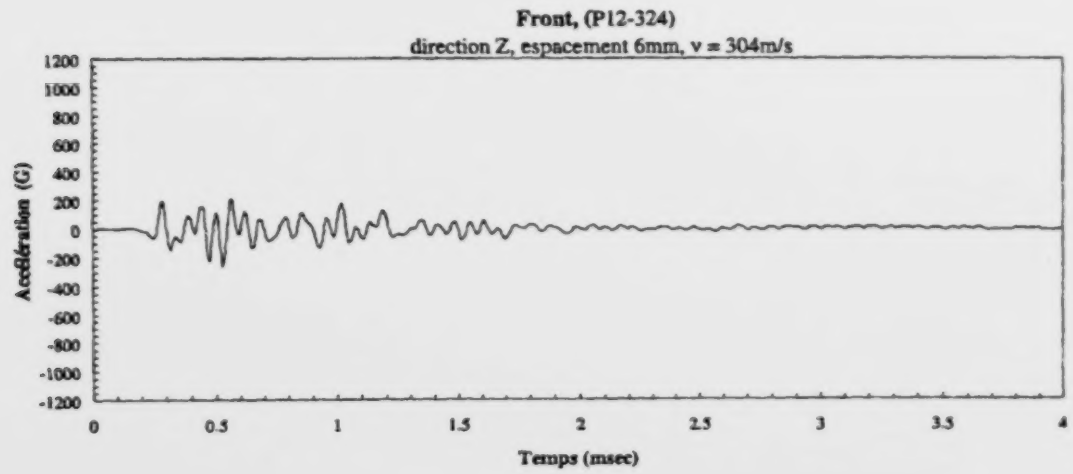


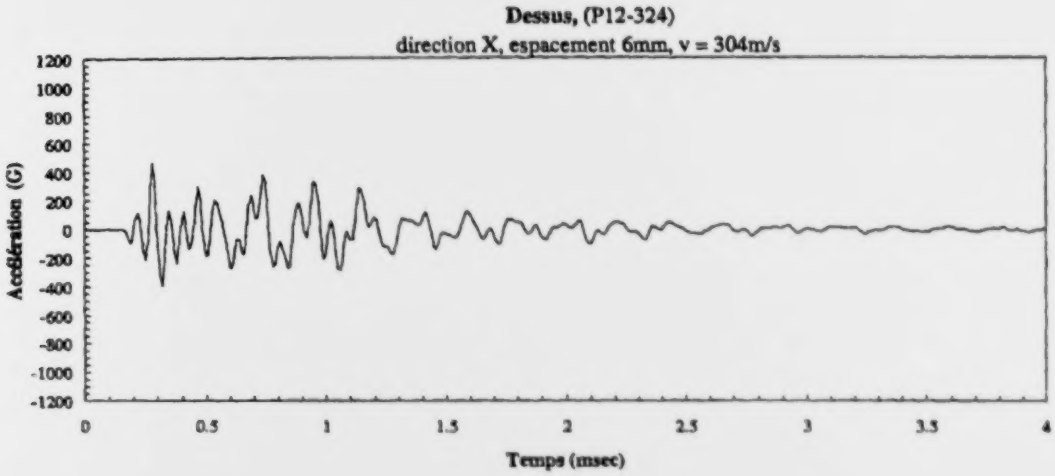



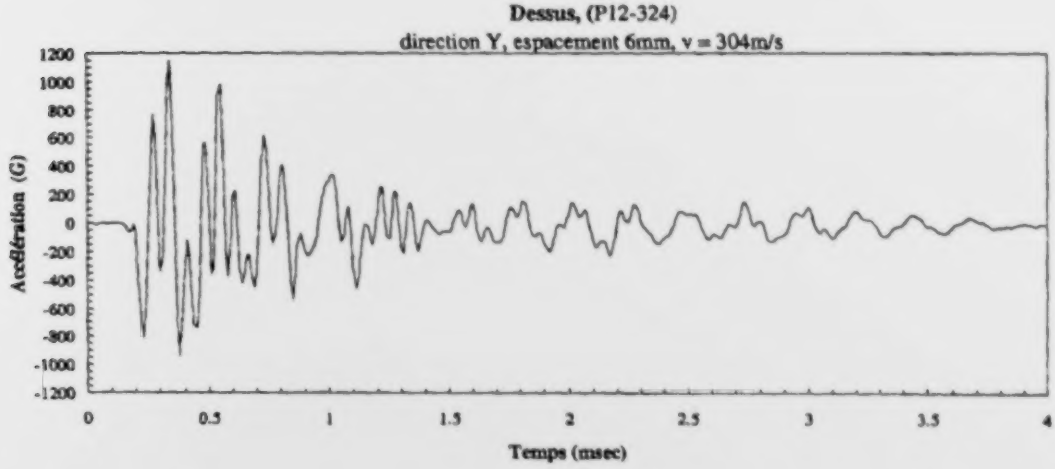

Accélération plaque P10-322



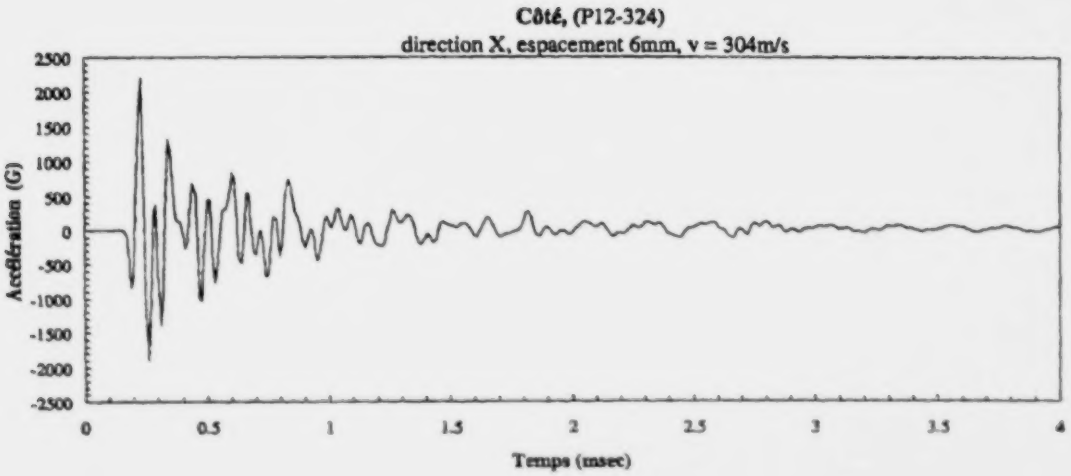



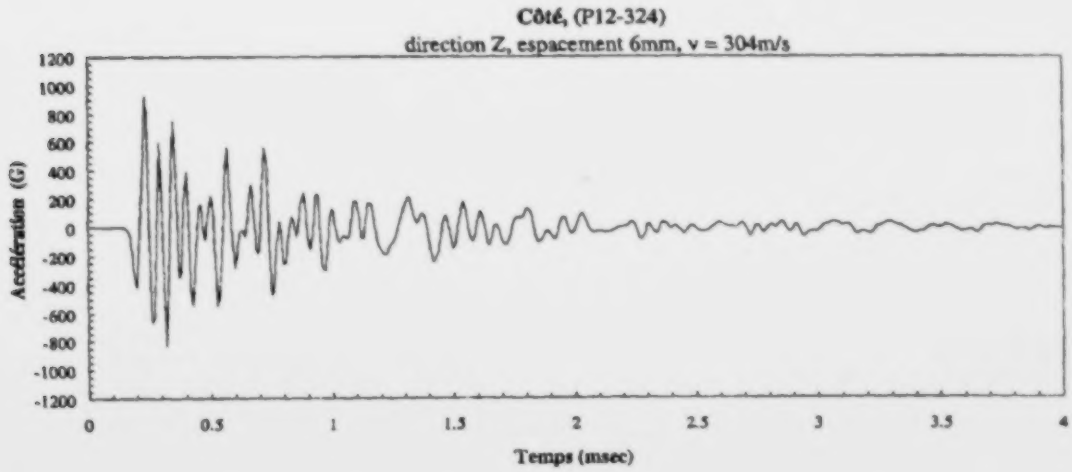

Accélération plaque P12-324



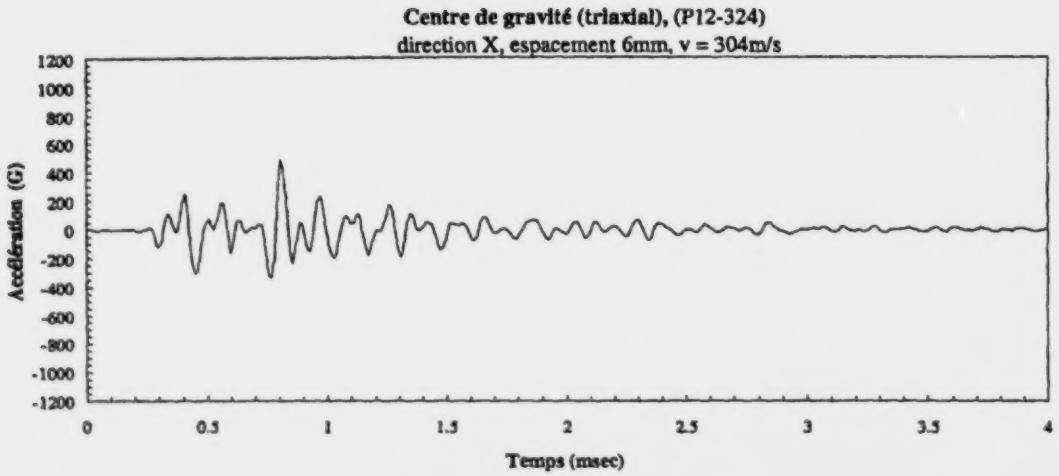



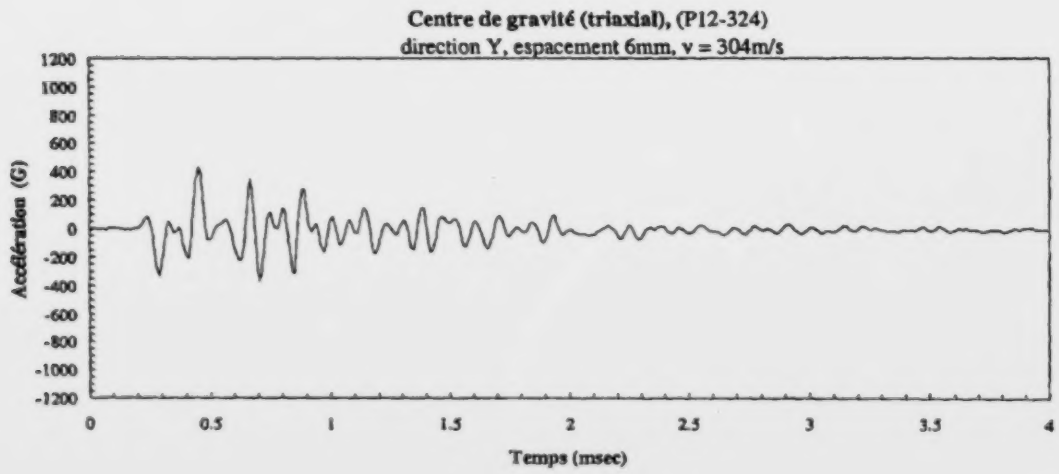

Accélération plaque P12-324

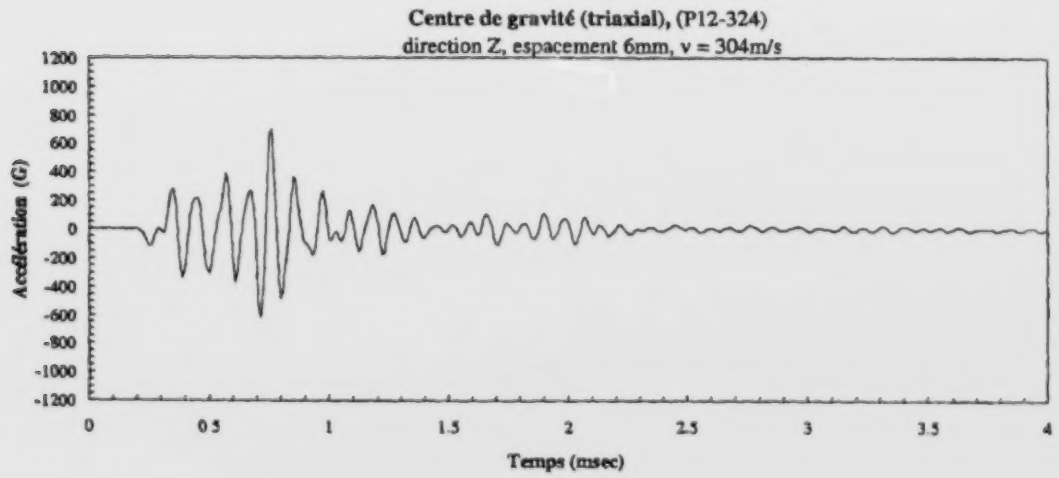


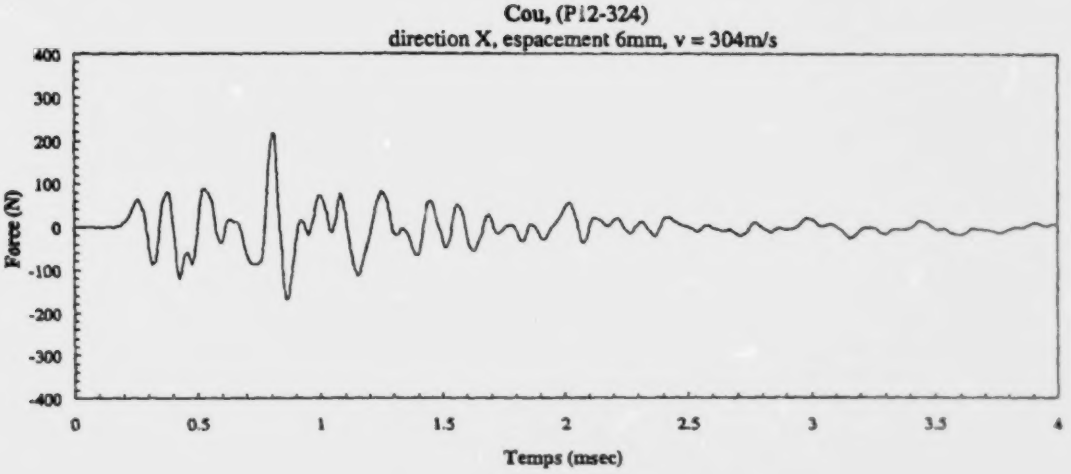

Accélération plaque P12-324

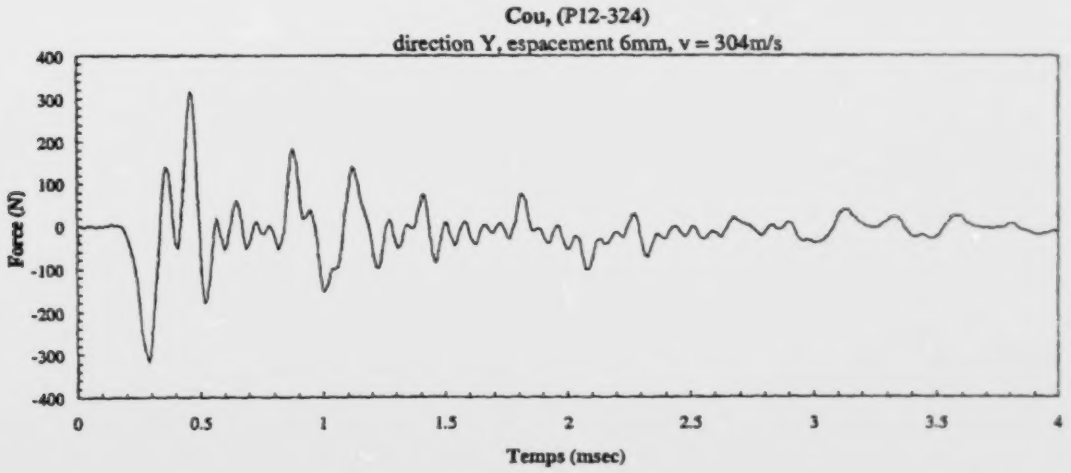


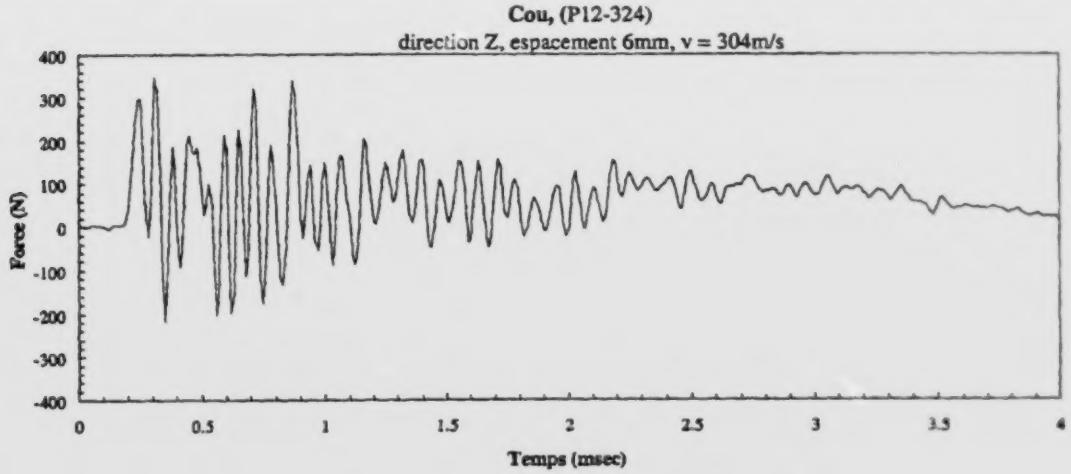



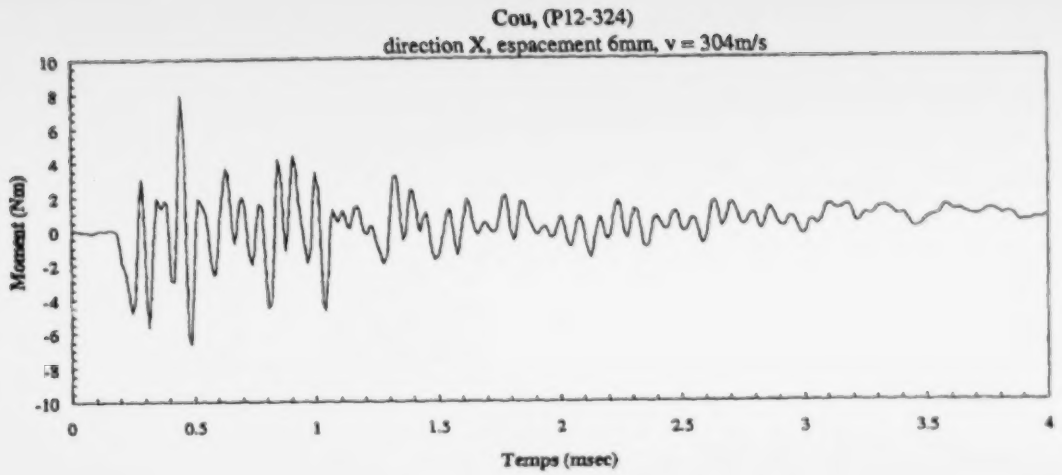

Accélération plaque P12-324

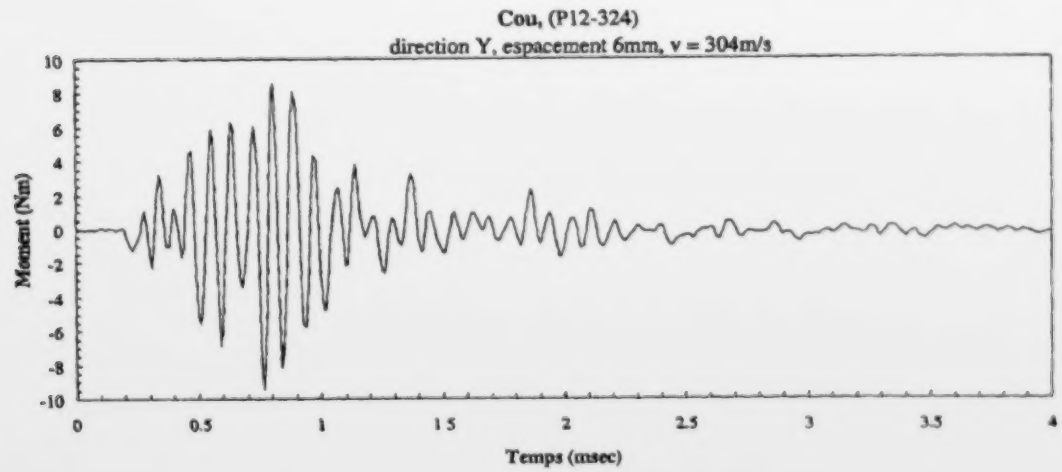


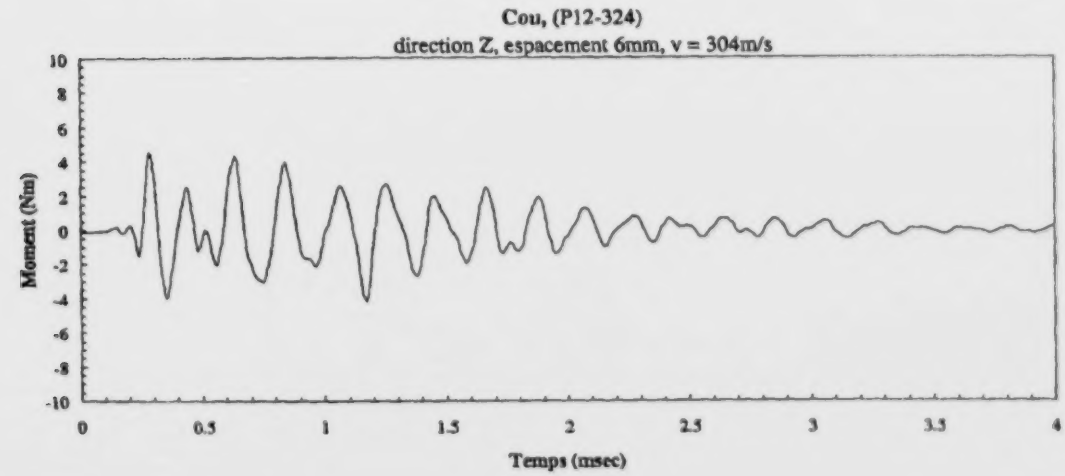



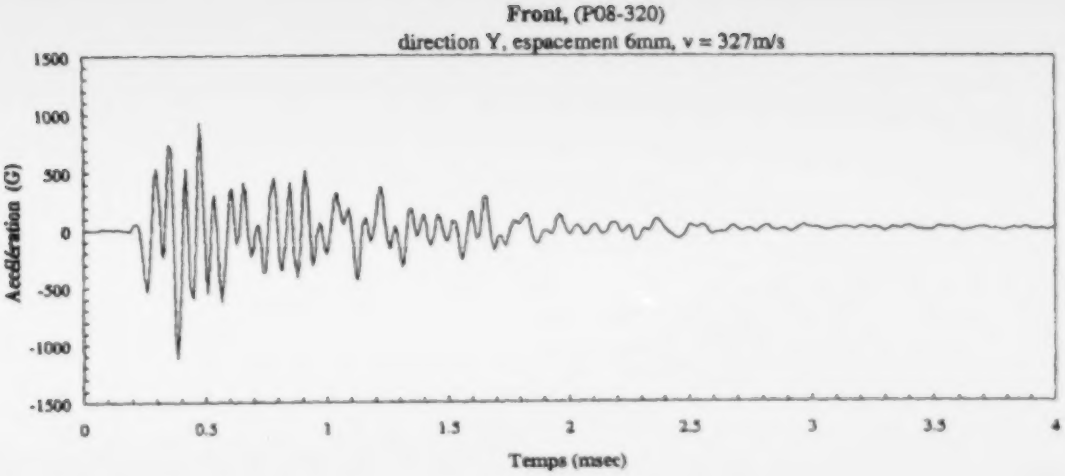

Accélération plaque P12-324

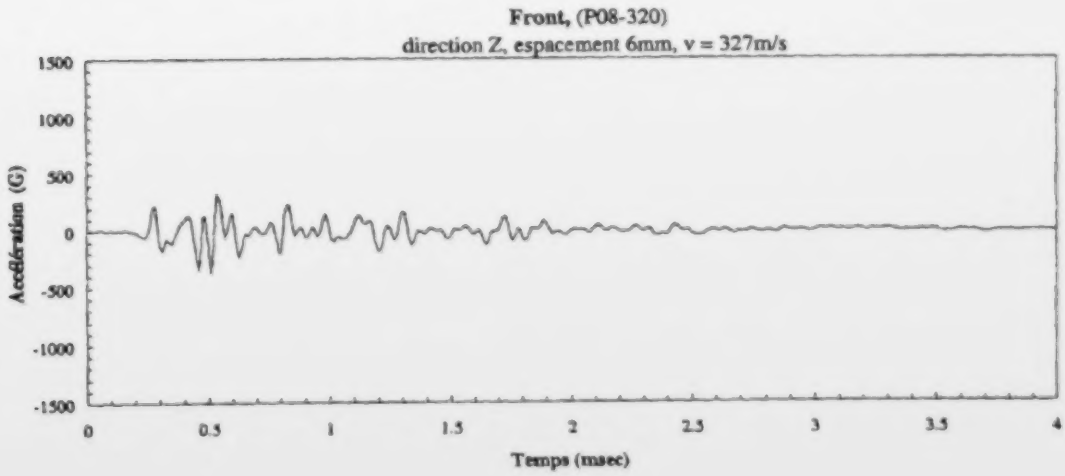


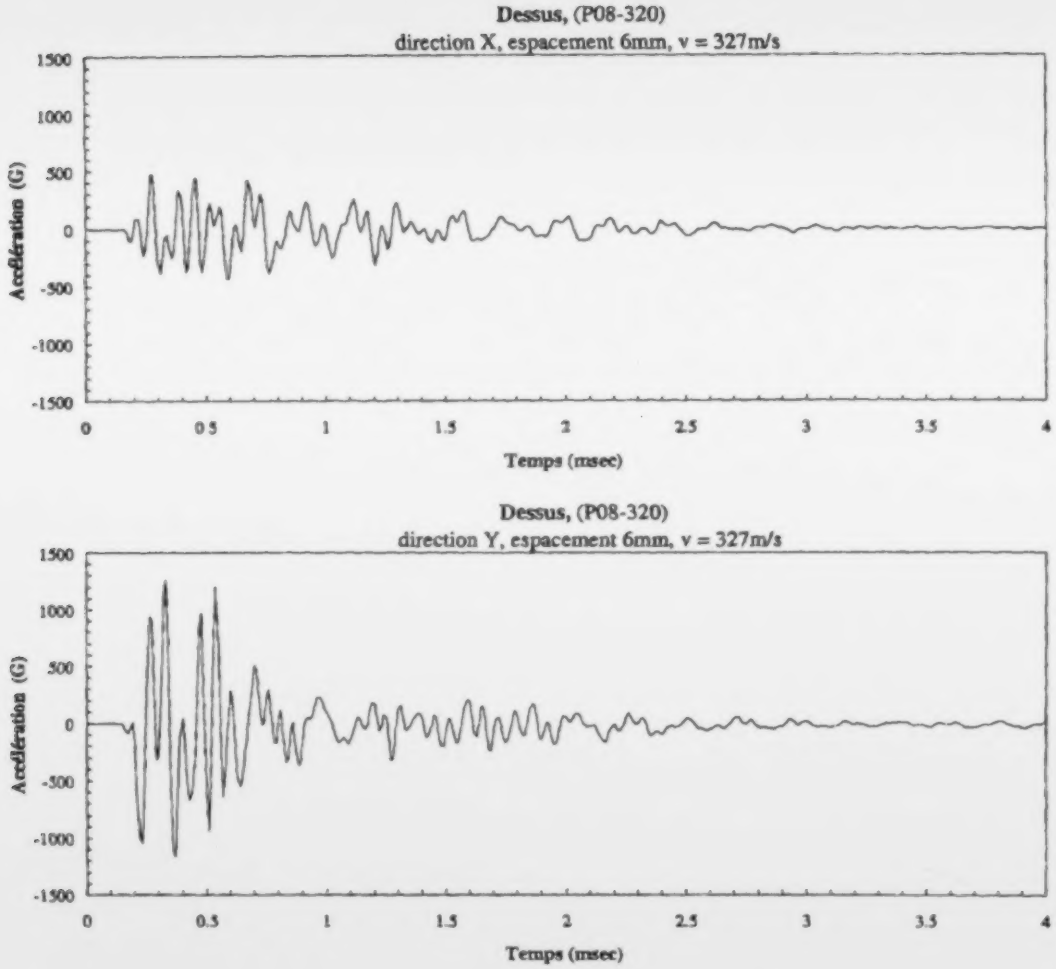




Accélération plaque P12-324

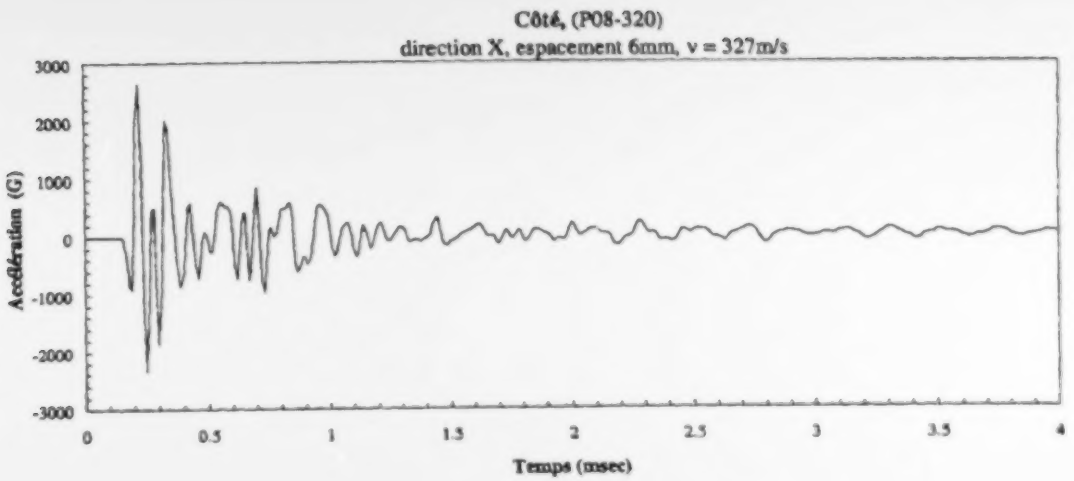


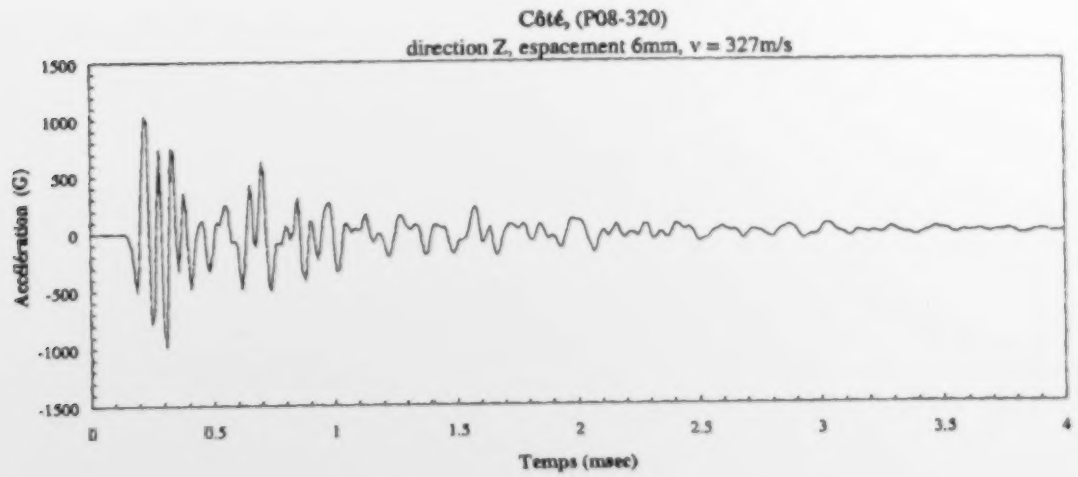




Accélération plaque P08-320

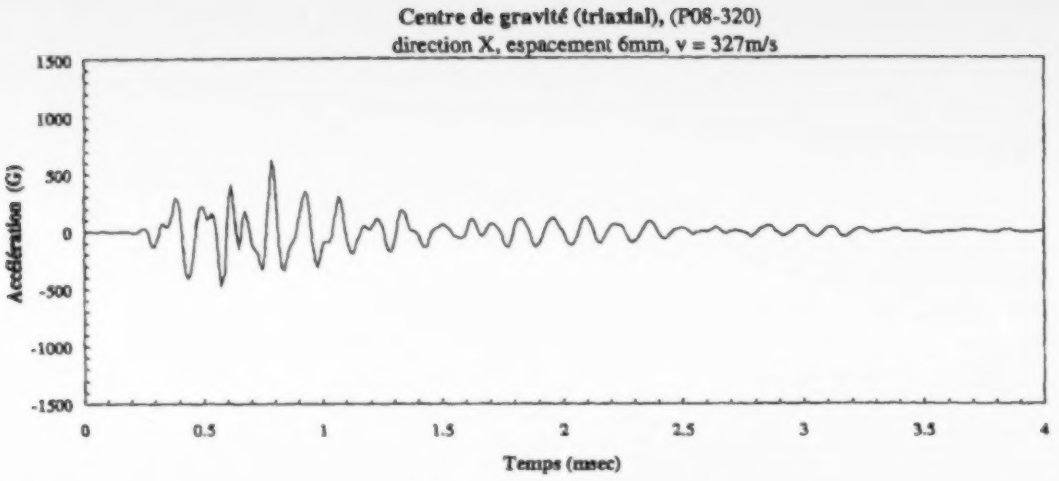


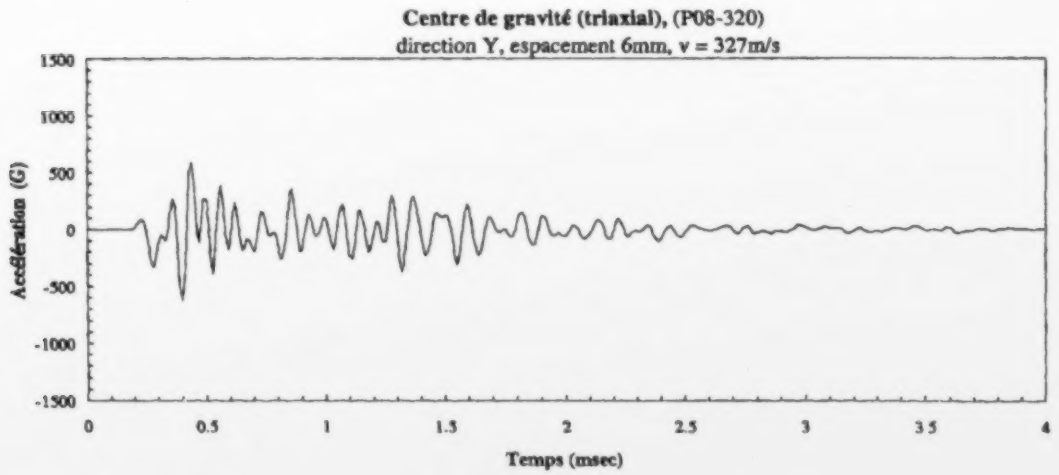

Accélération plaque P08-320

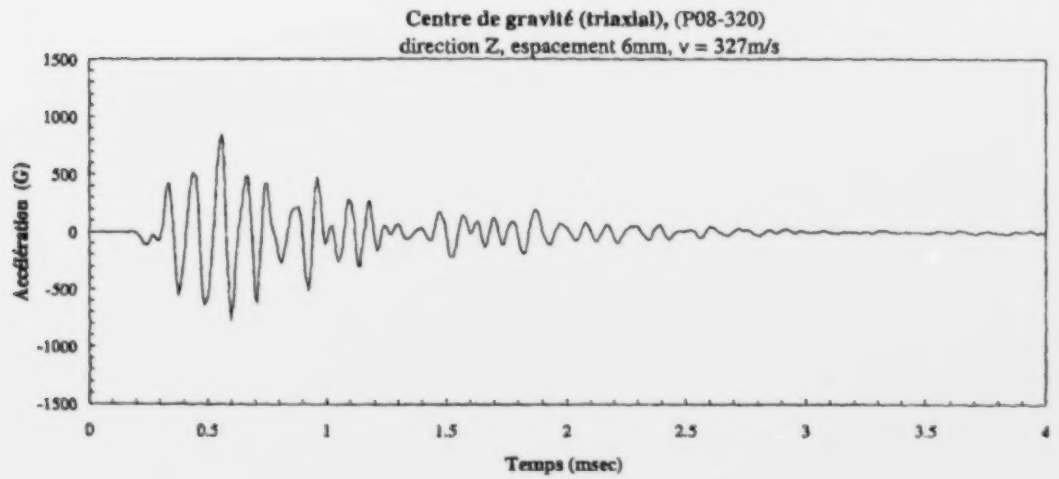


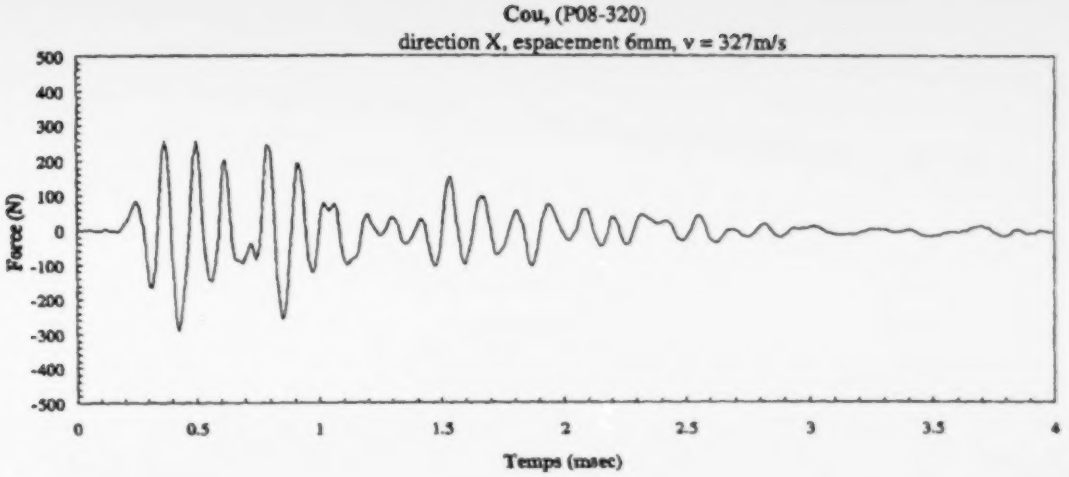

Accélération plaque P08-320

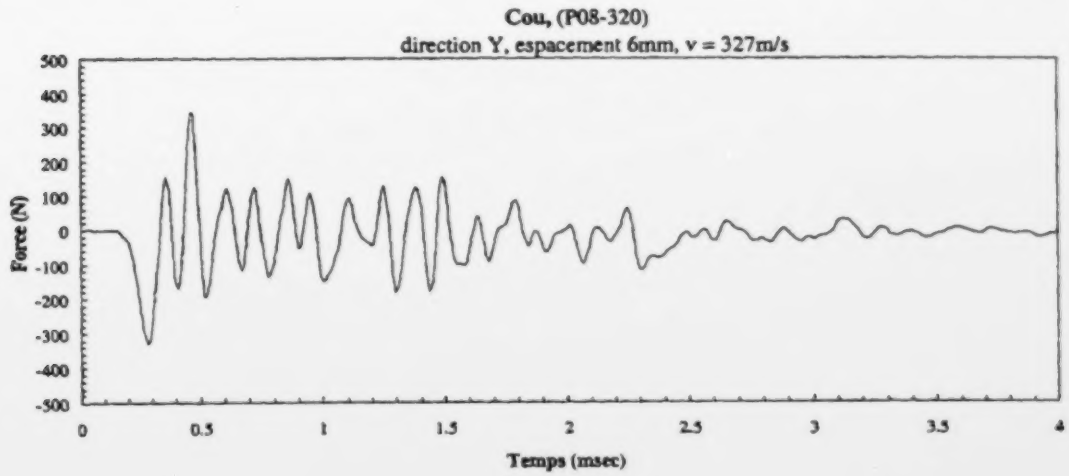


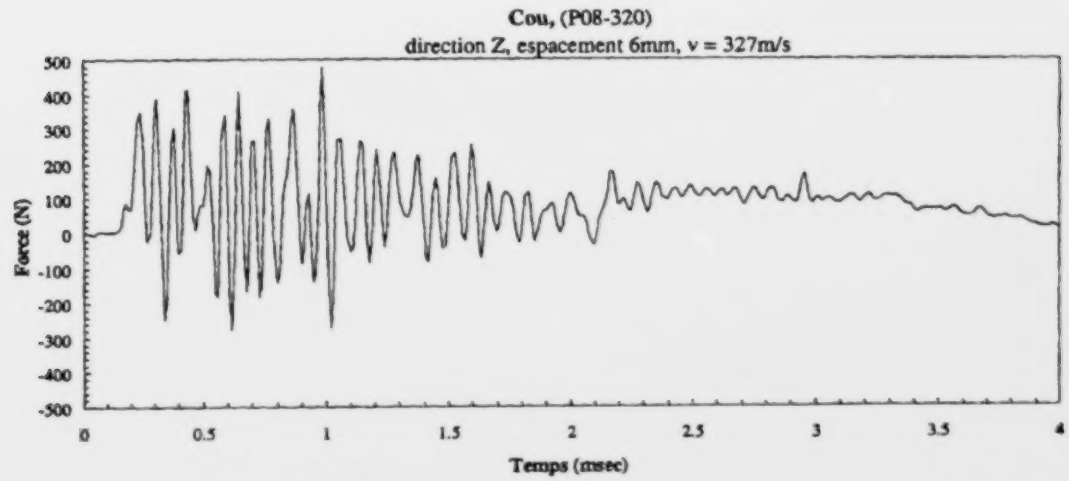



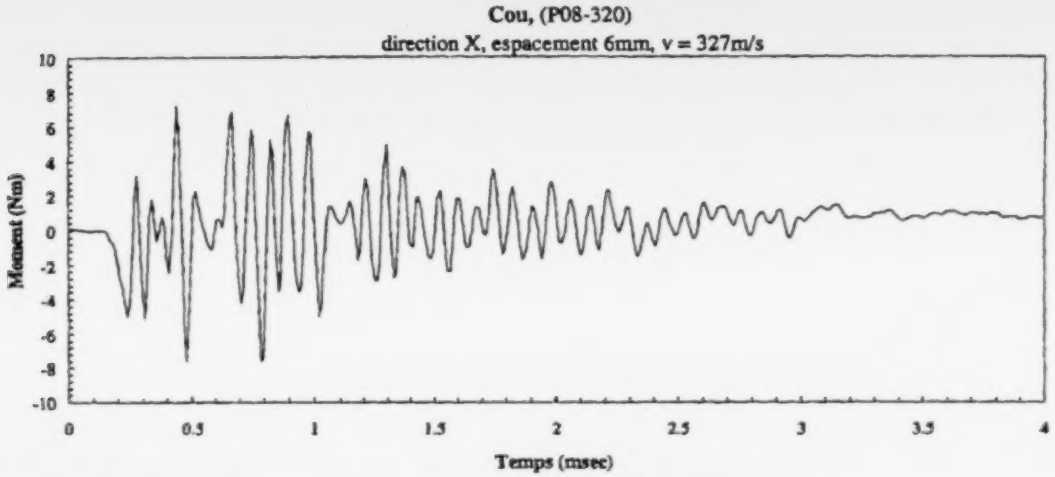

Accélération plaque P08-320

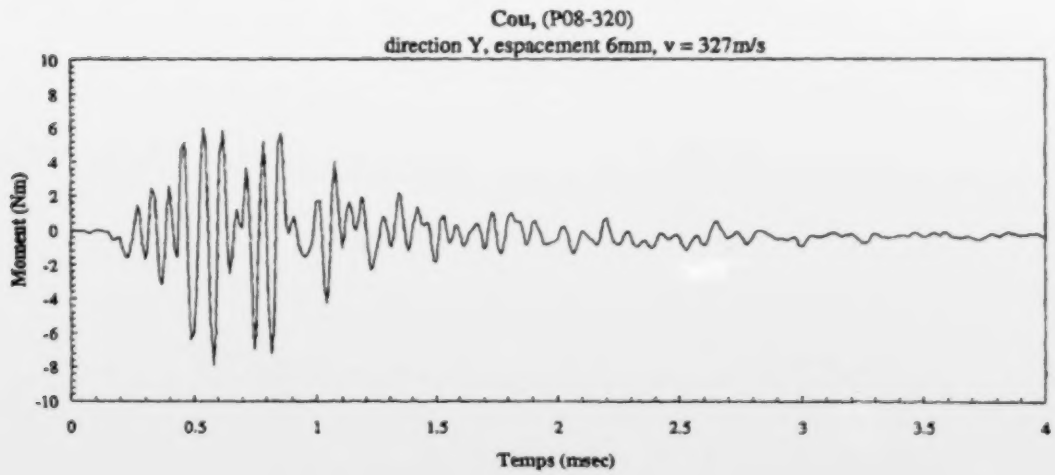


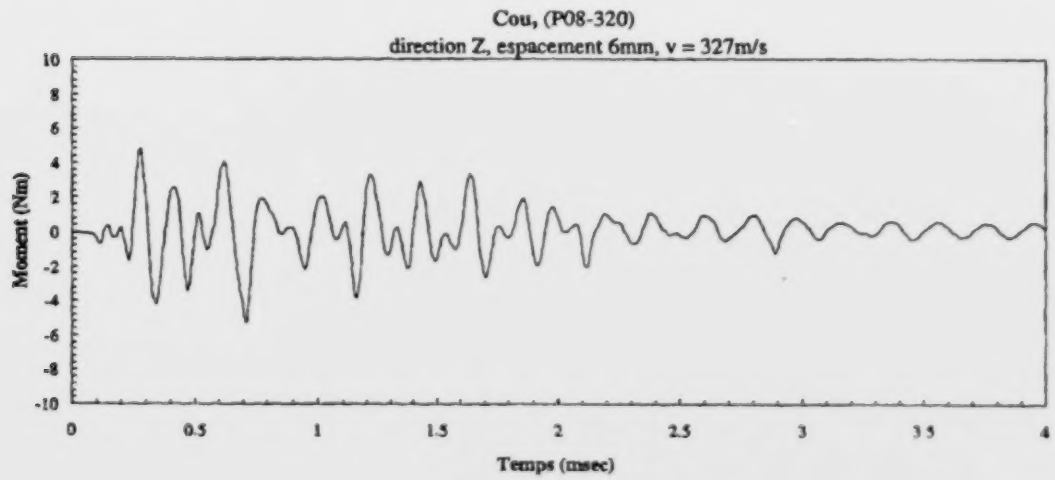



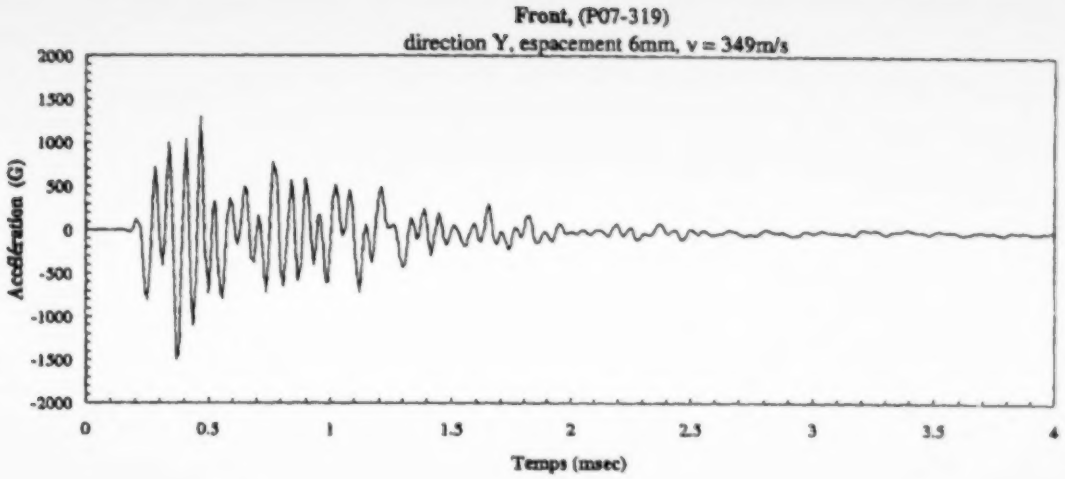

Accélération plaque P08-320

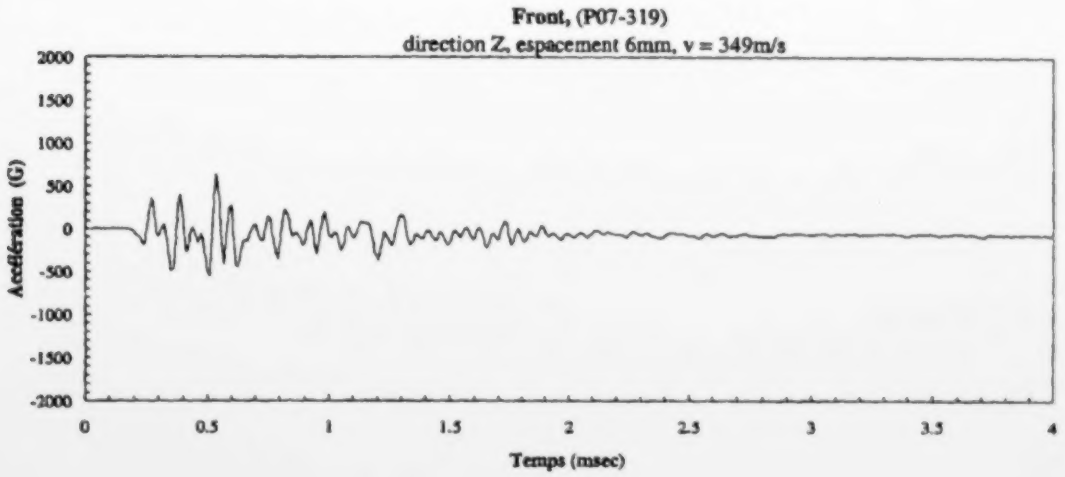


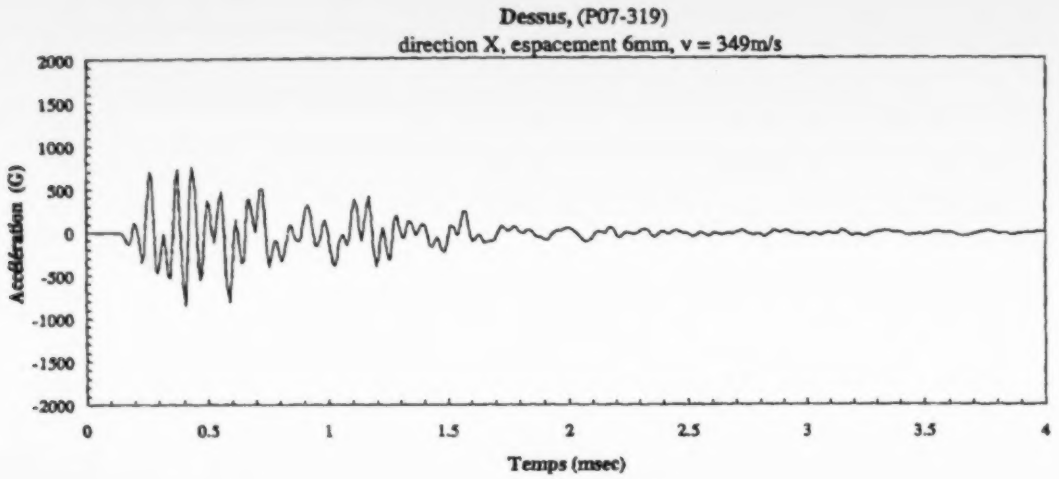



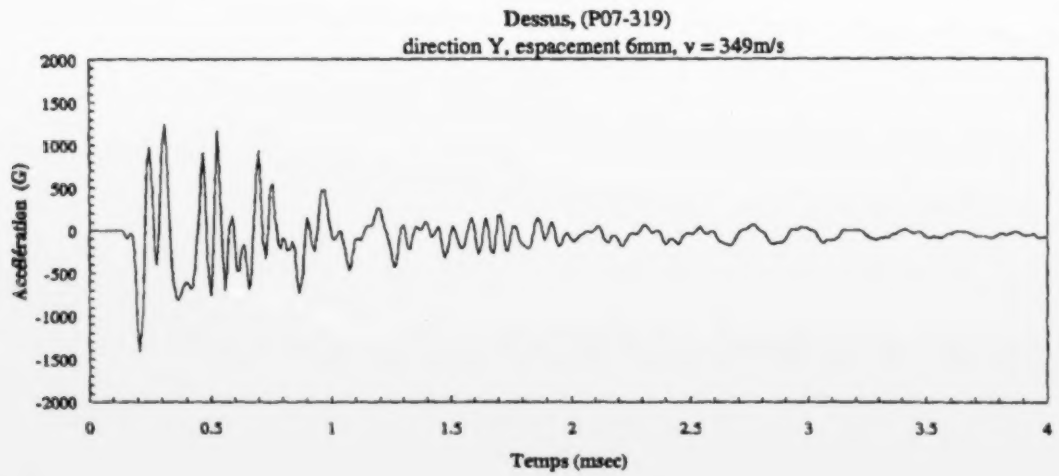

Accélération plaque P08-320



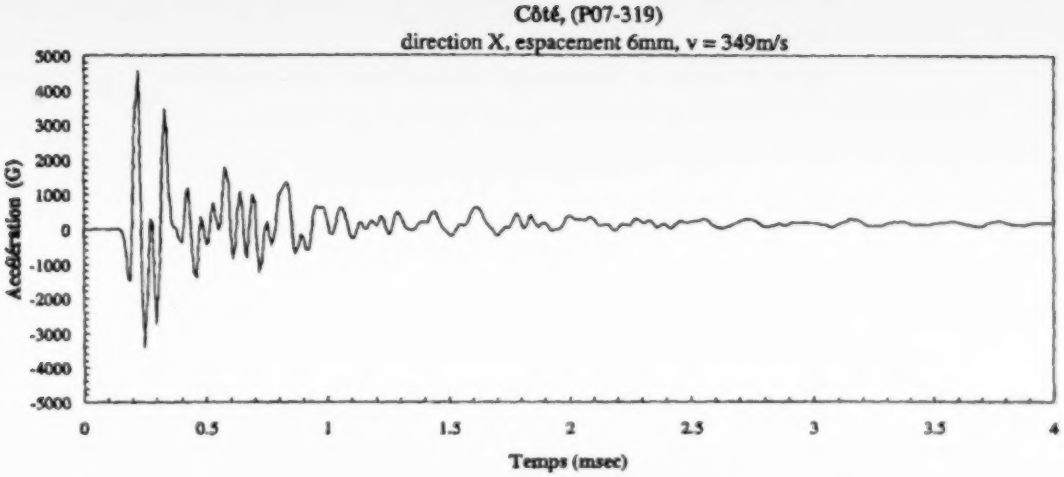



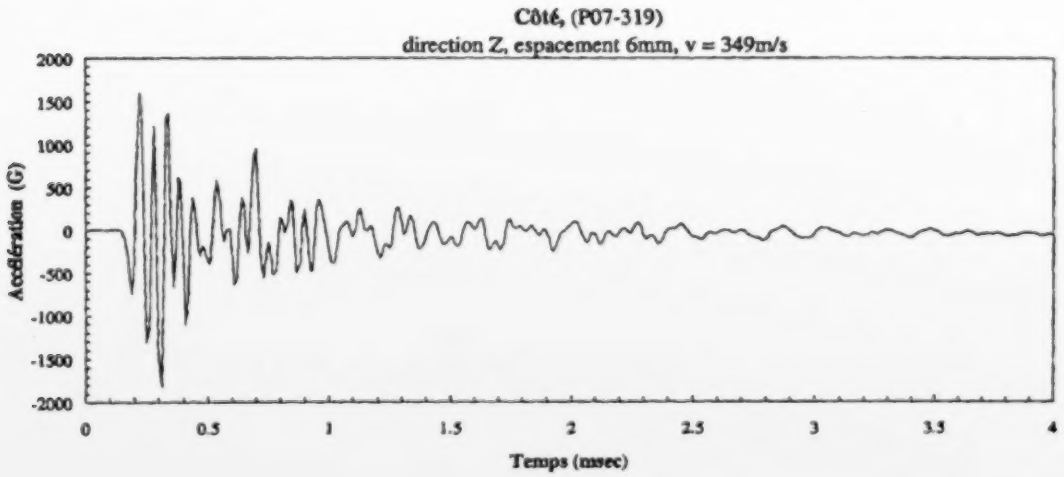

Accélération plaque P07-319



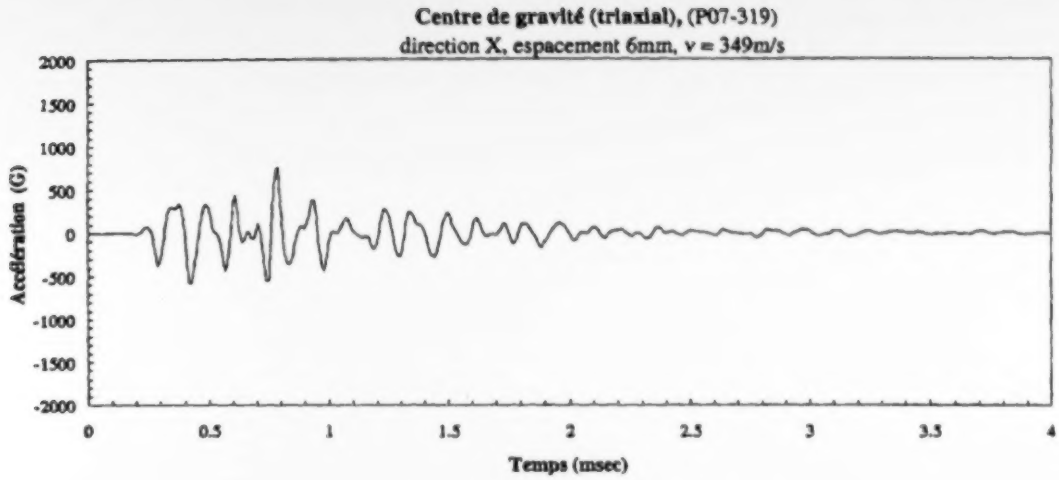



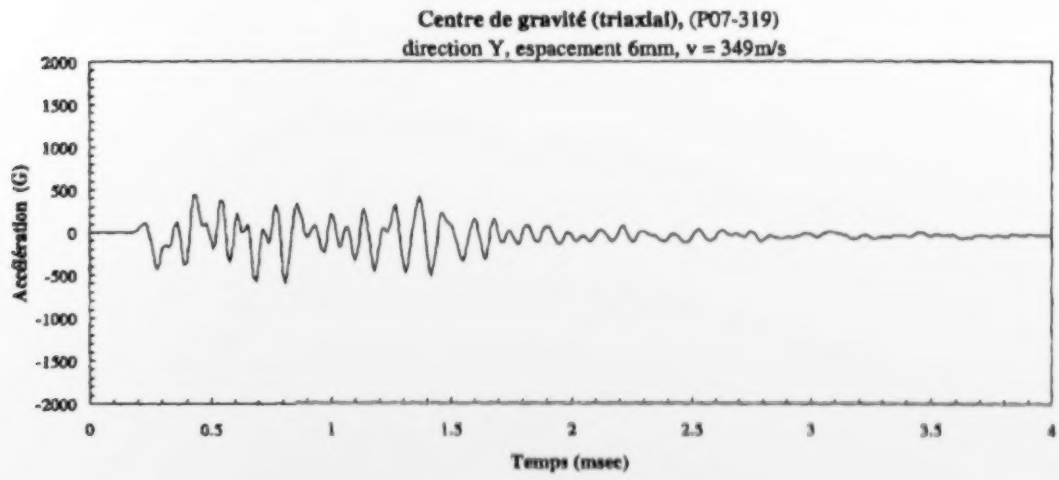

Accélération plaque P07-319

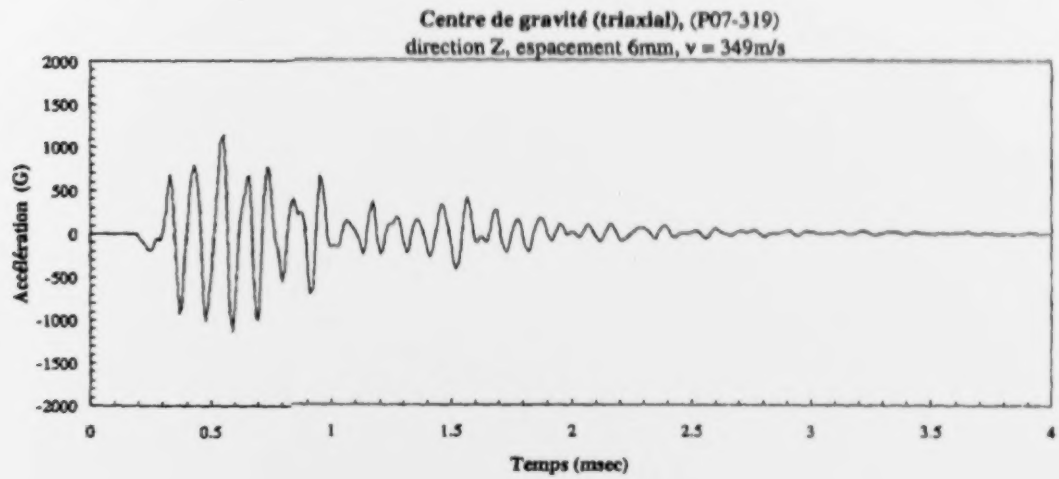


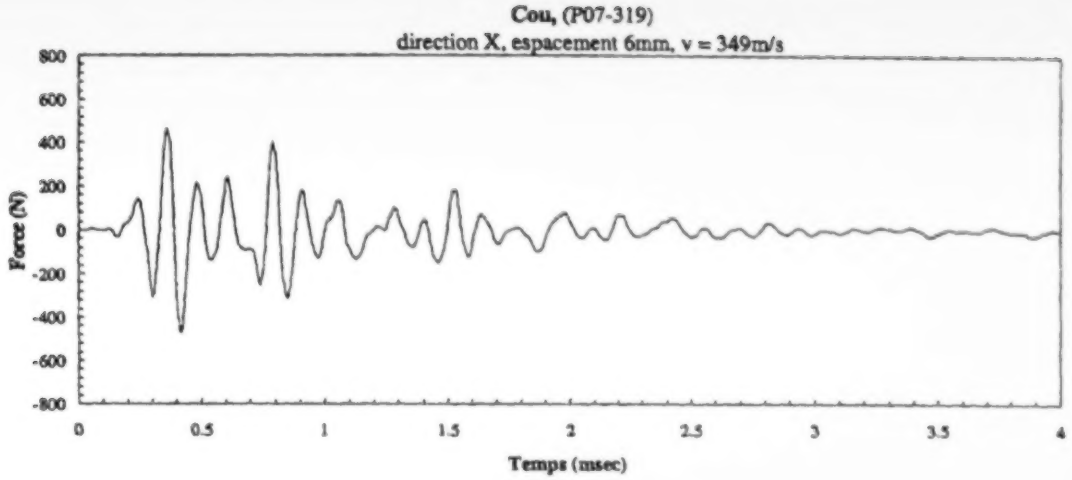

Accélération plaque P07-319

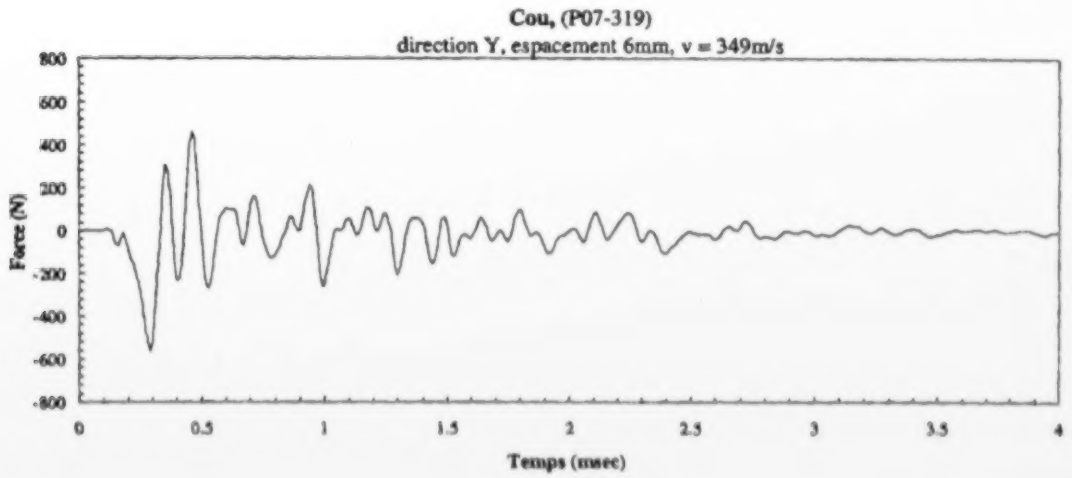


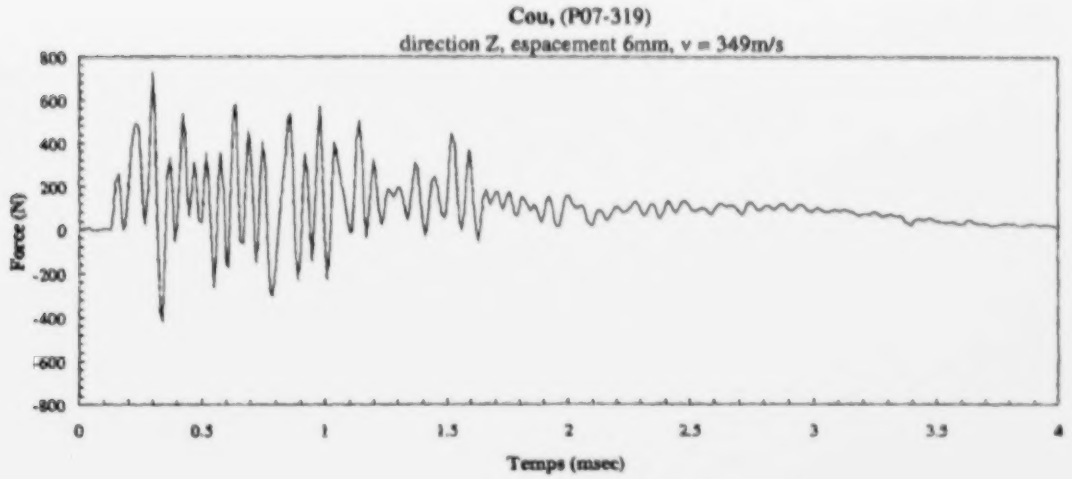



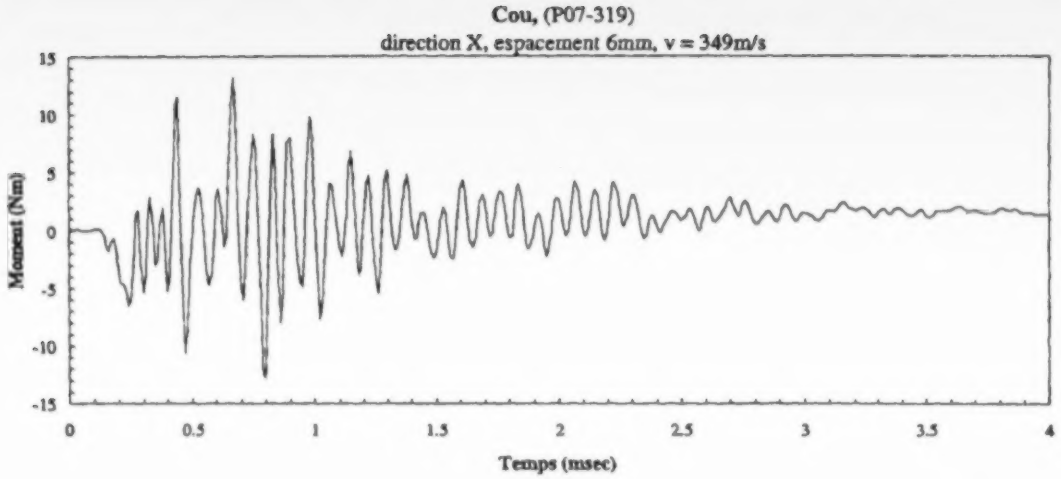

Accélération plaque P07-319

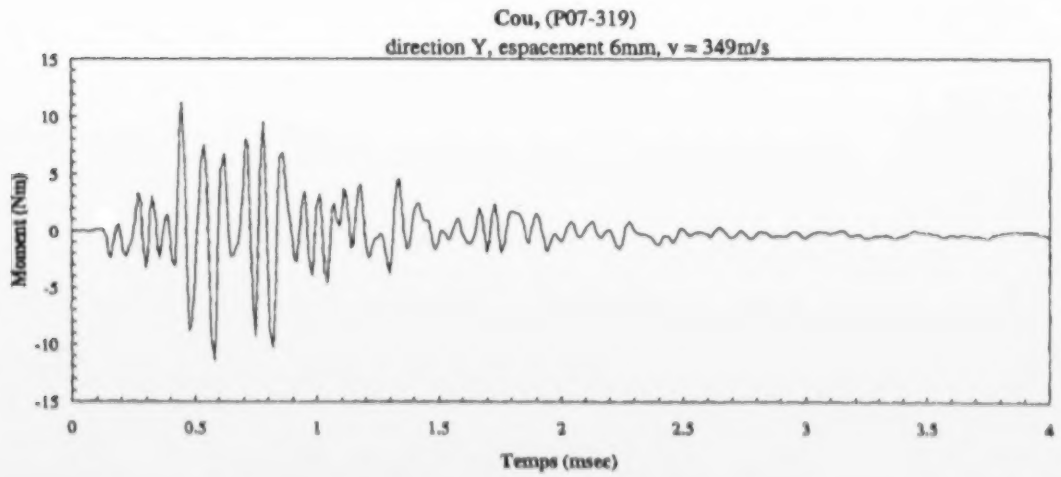


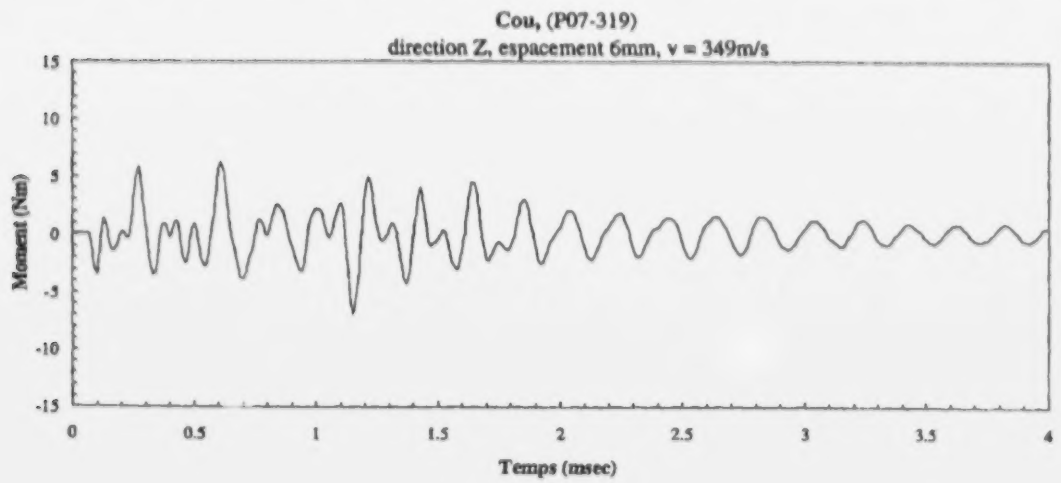



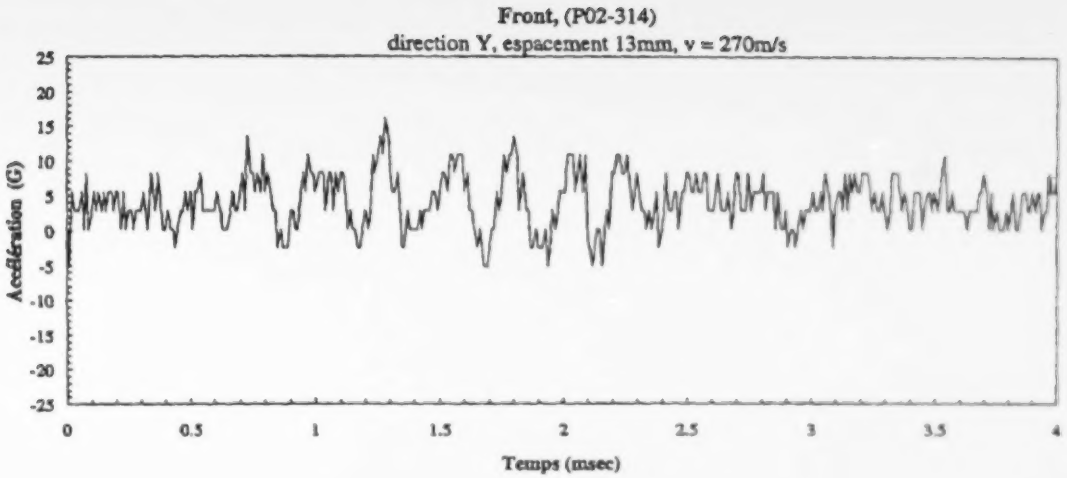

Accélération plaque P07-319

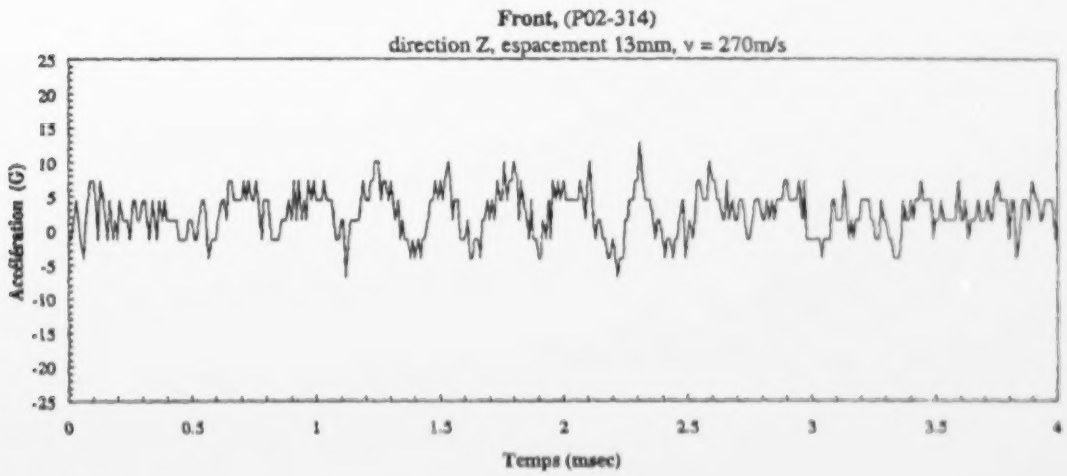


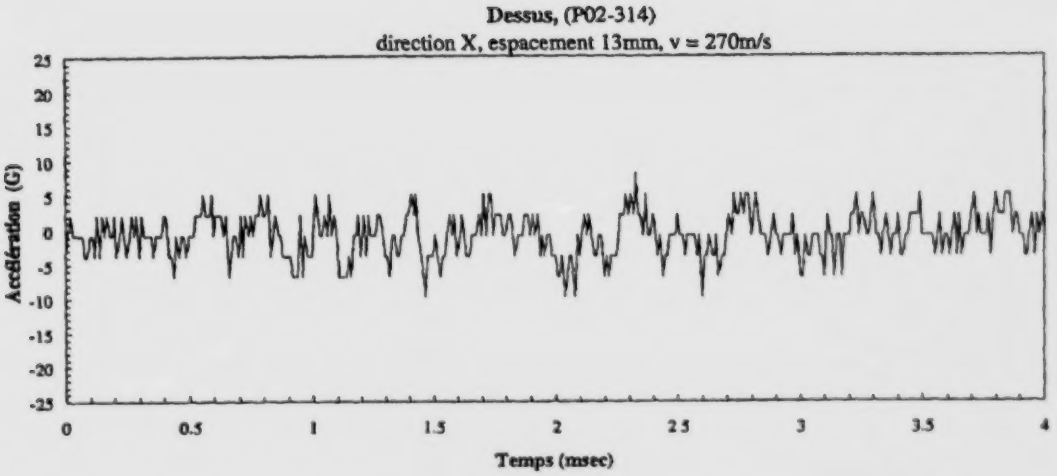



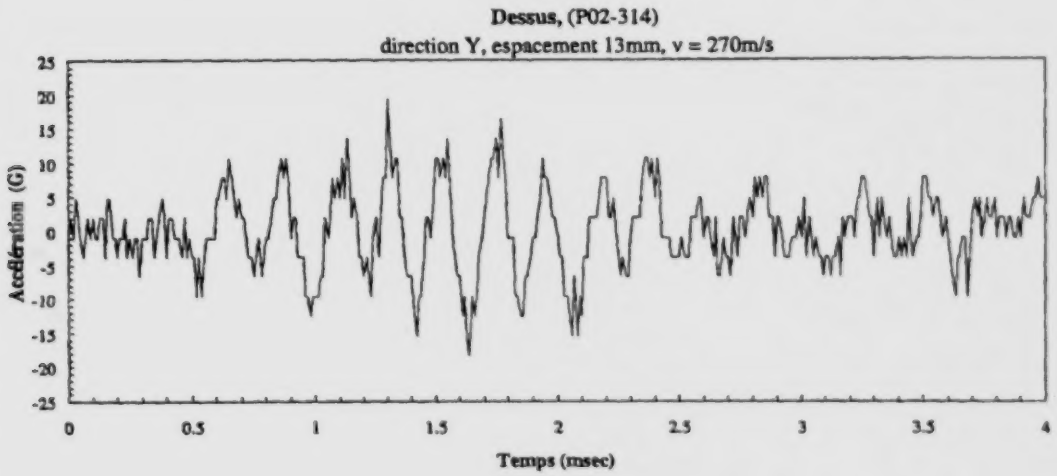

Accélération plaque P07-319



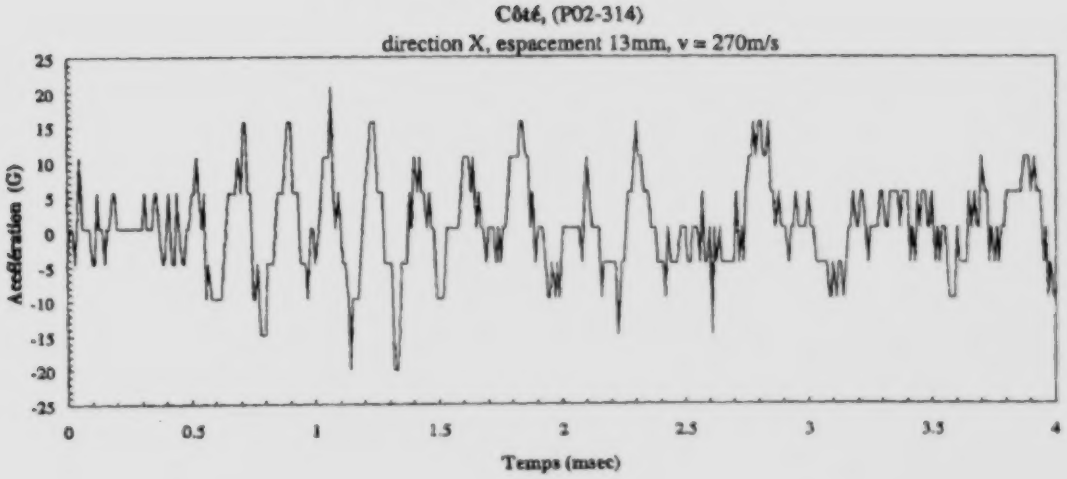



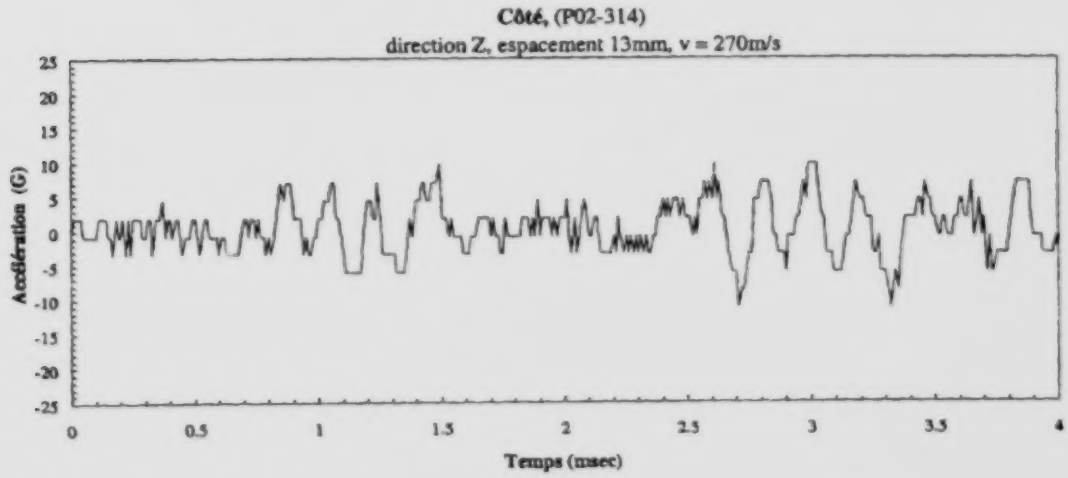

Accélération plaque P02-314



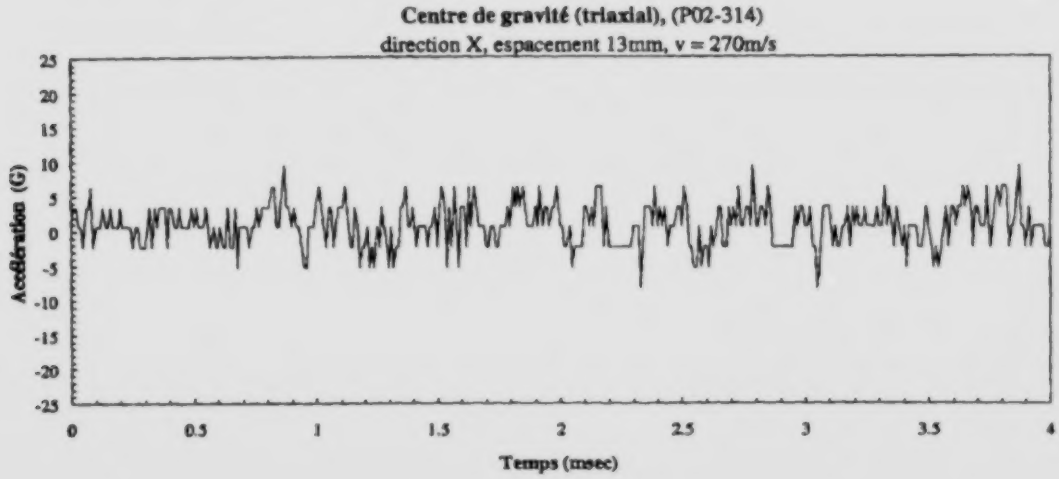



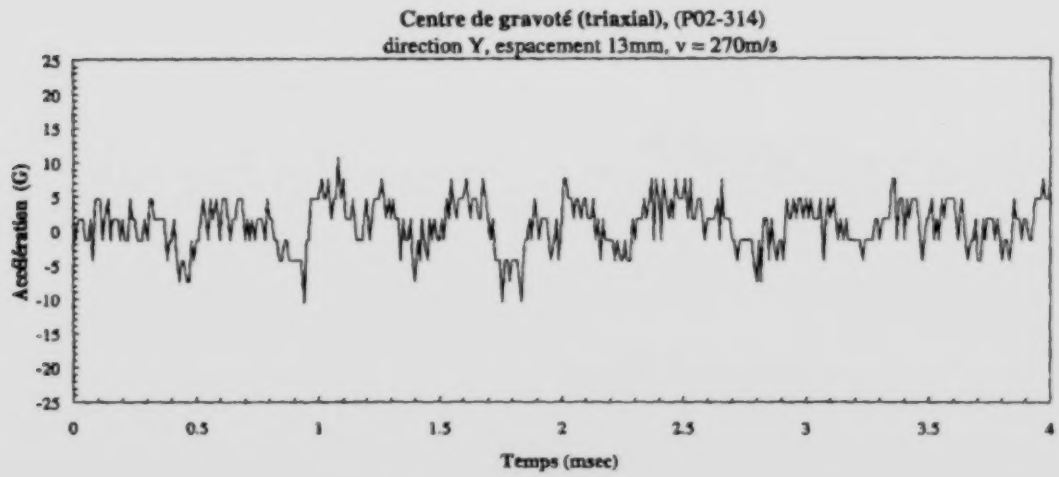

Accélération plaque P02-314

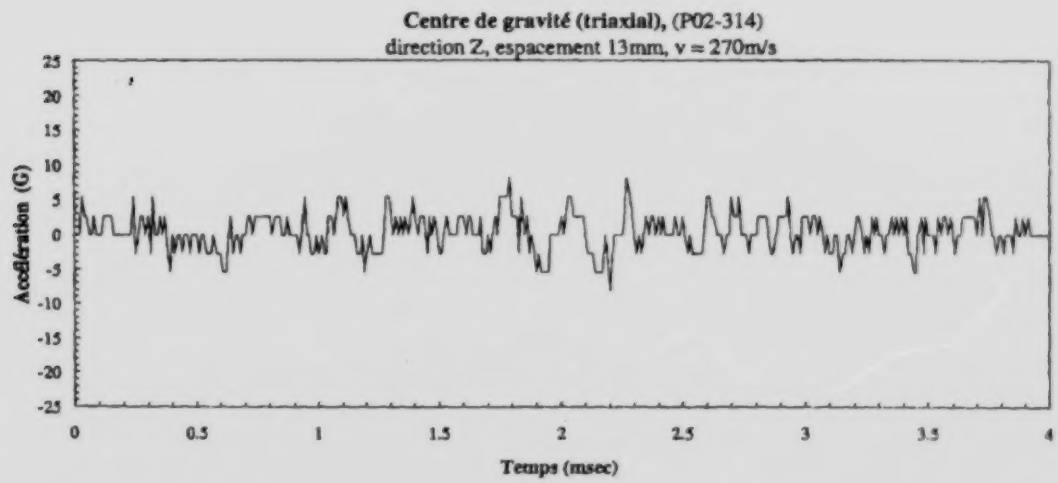


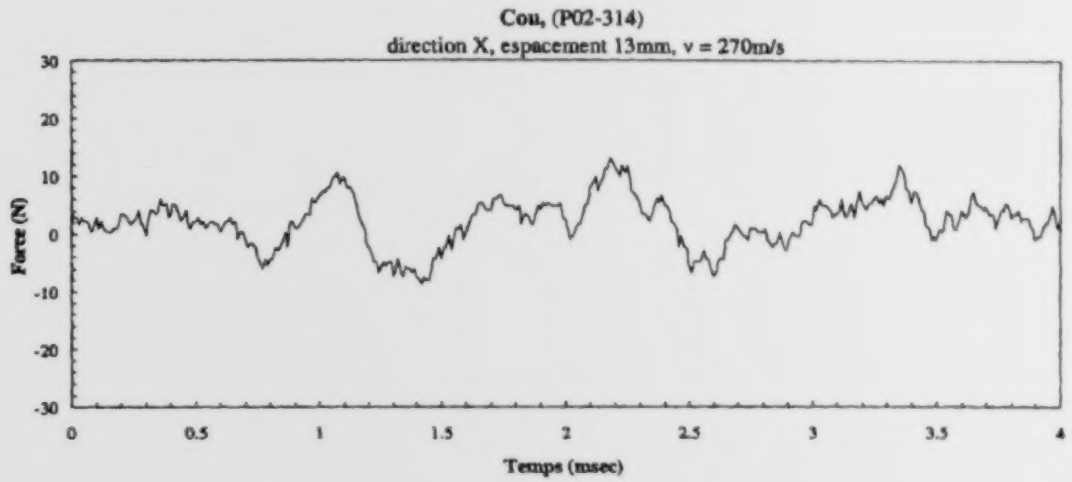

Accélération plaque P02-314

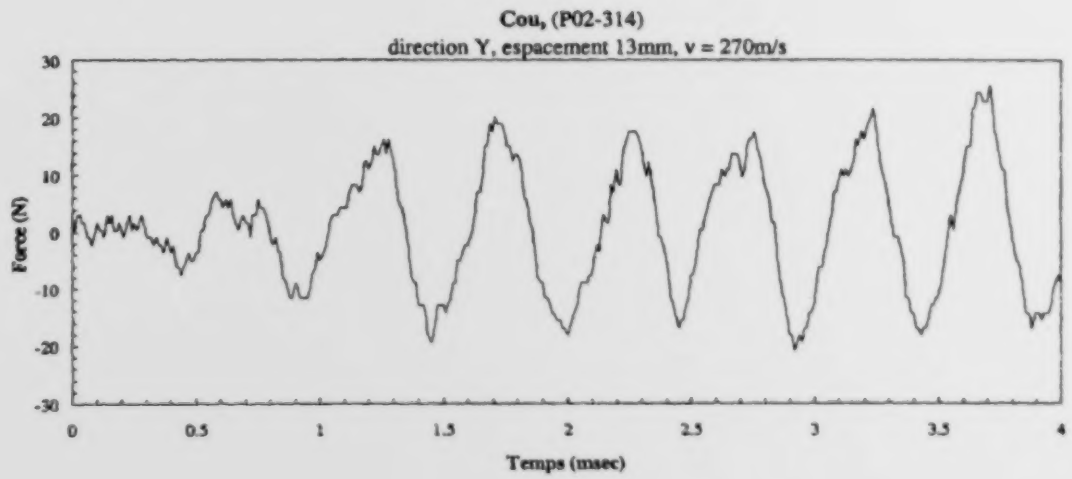


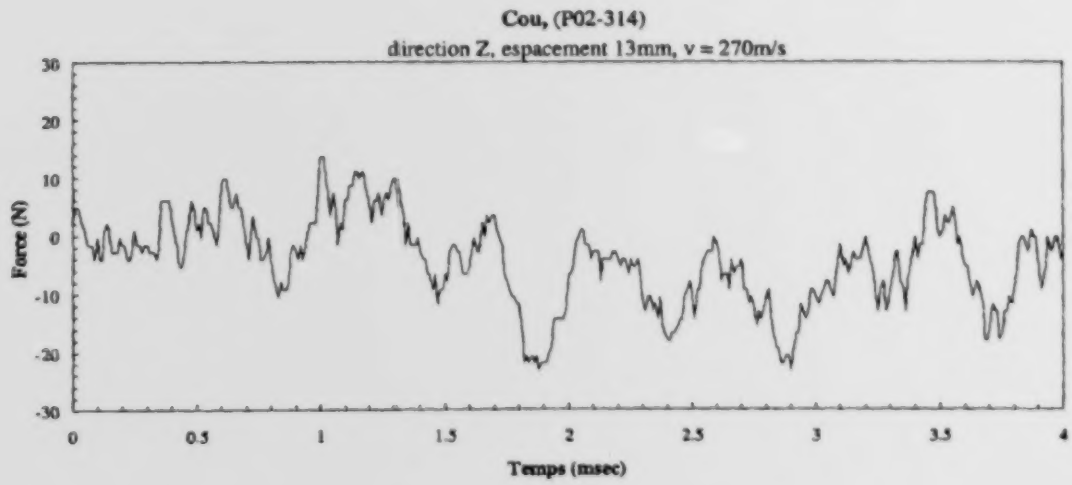



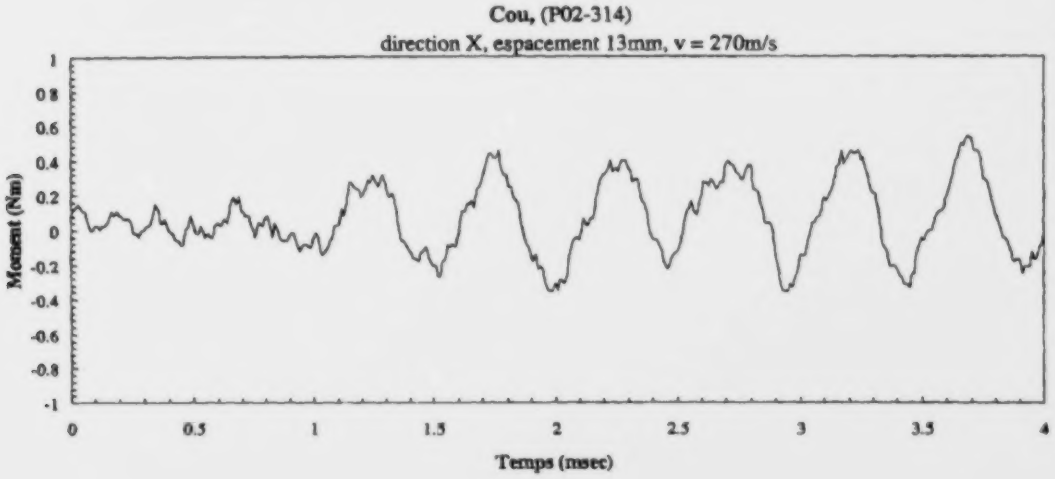

Accélération plaque P02-314

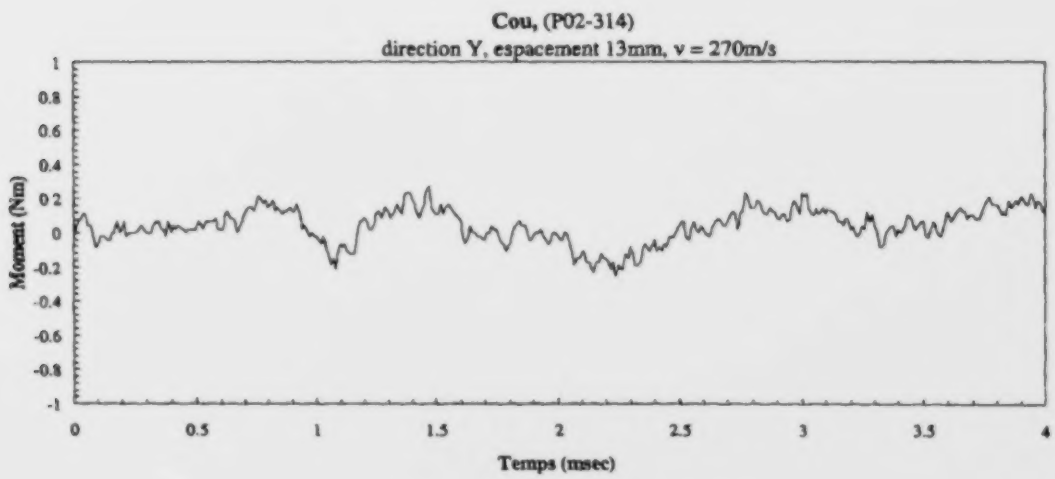


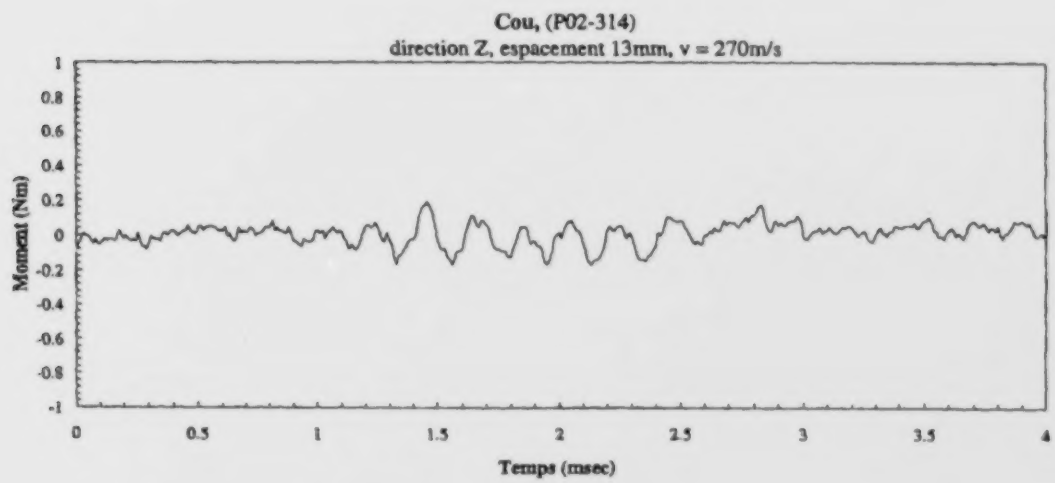



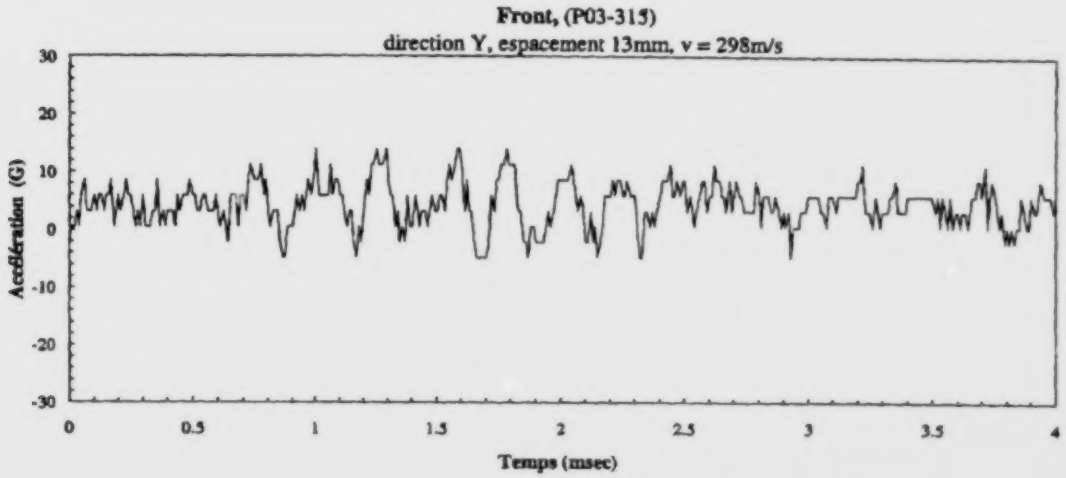

Accélération plaque P02-314

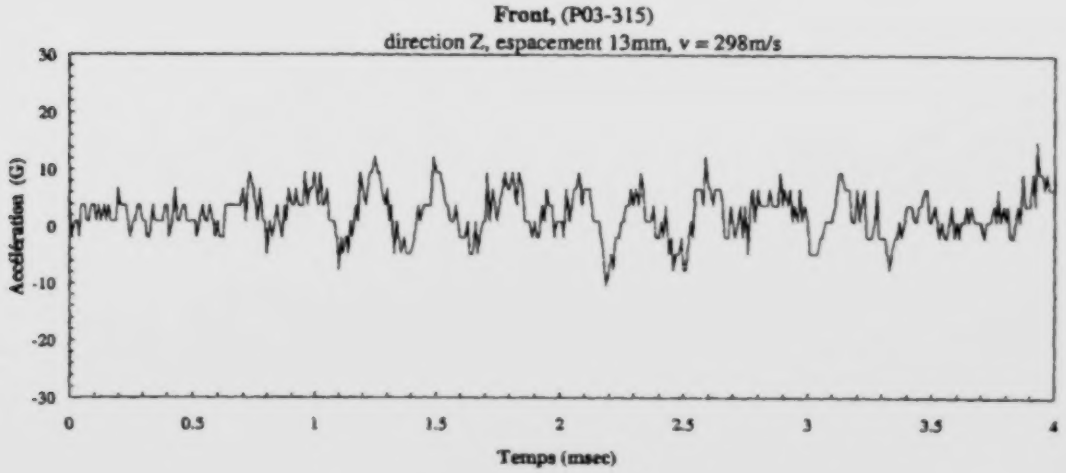


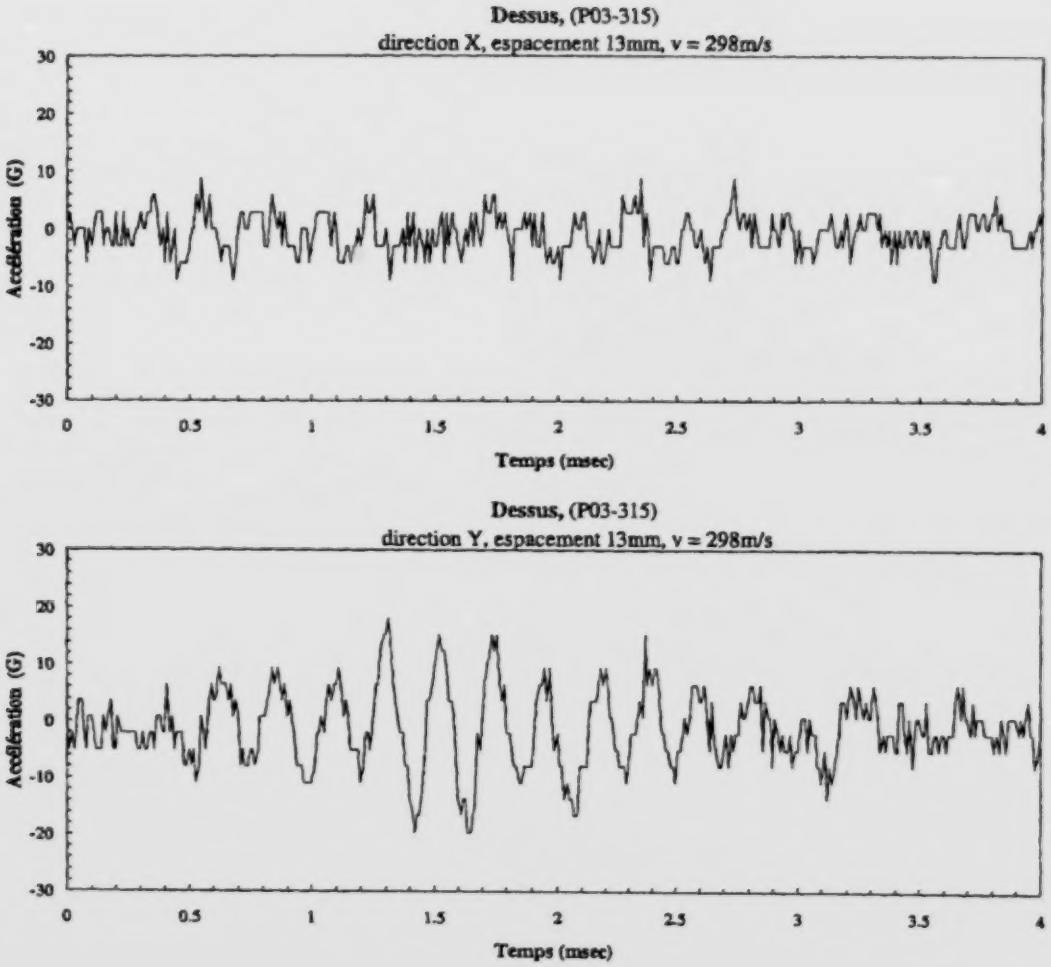




Accélération plaque P02-314

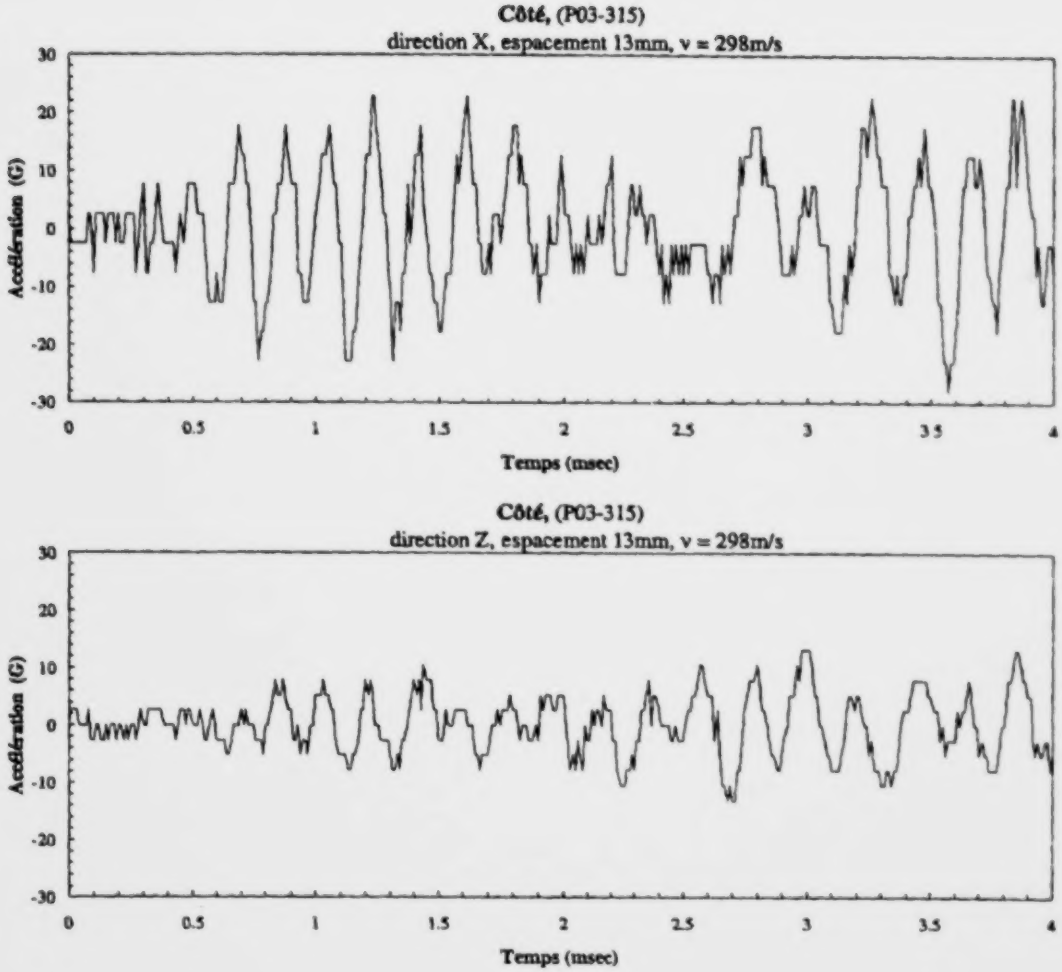


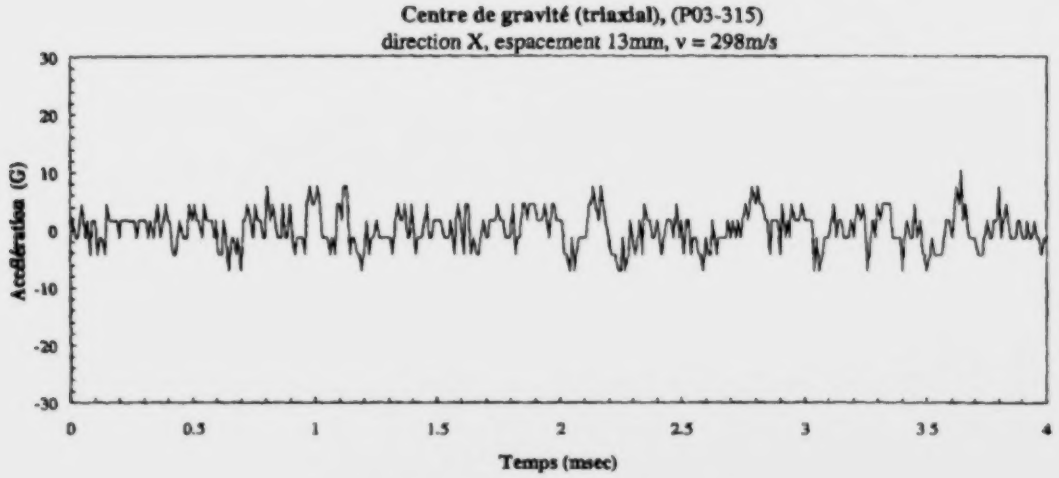

Accélération plaque P03-315

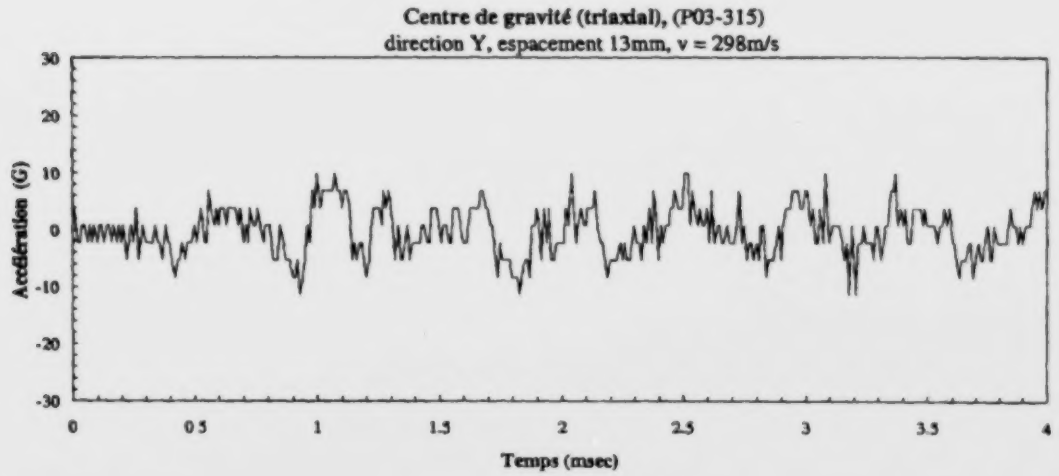


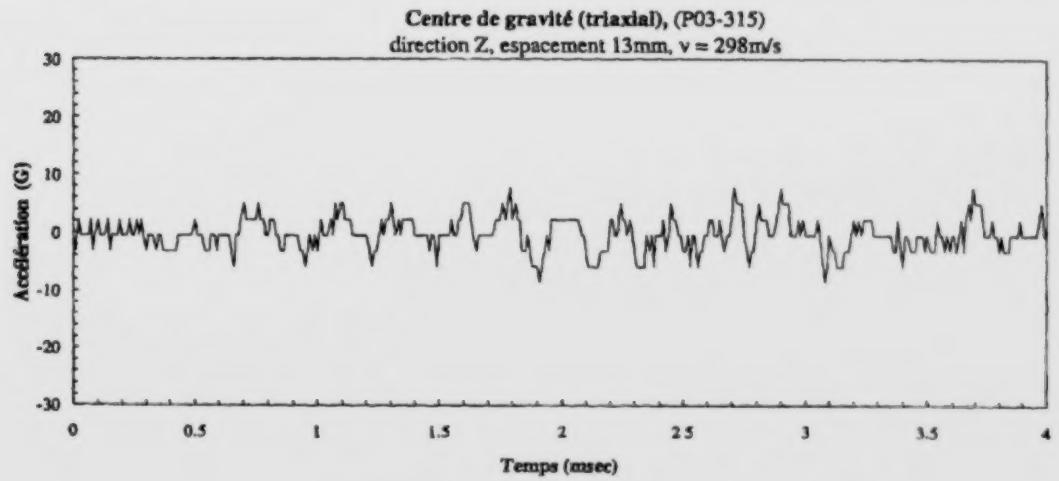

Accélération plaque P03-315



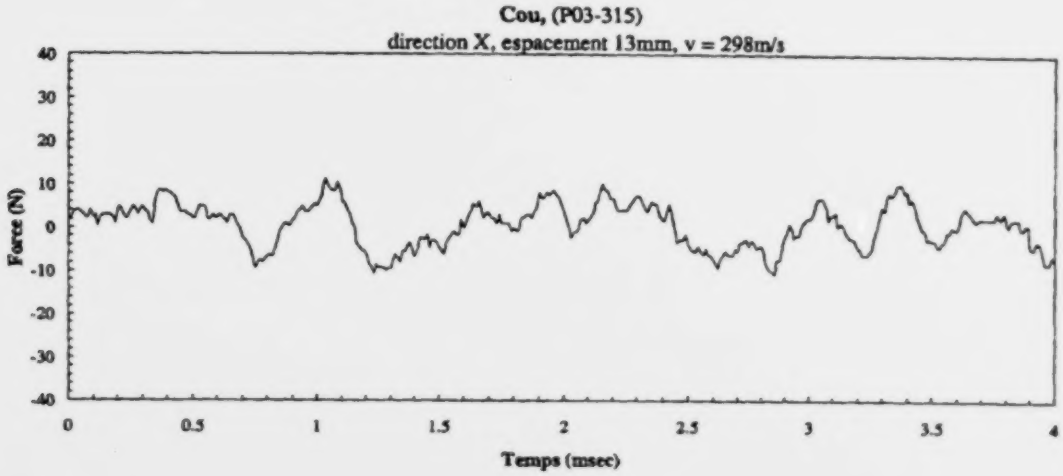

Accélération plaque P03-315

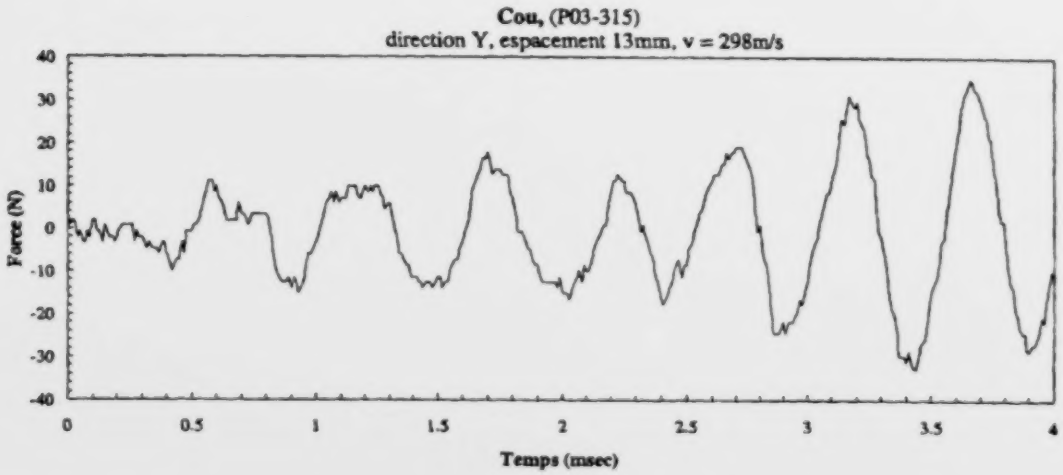


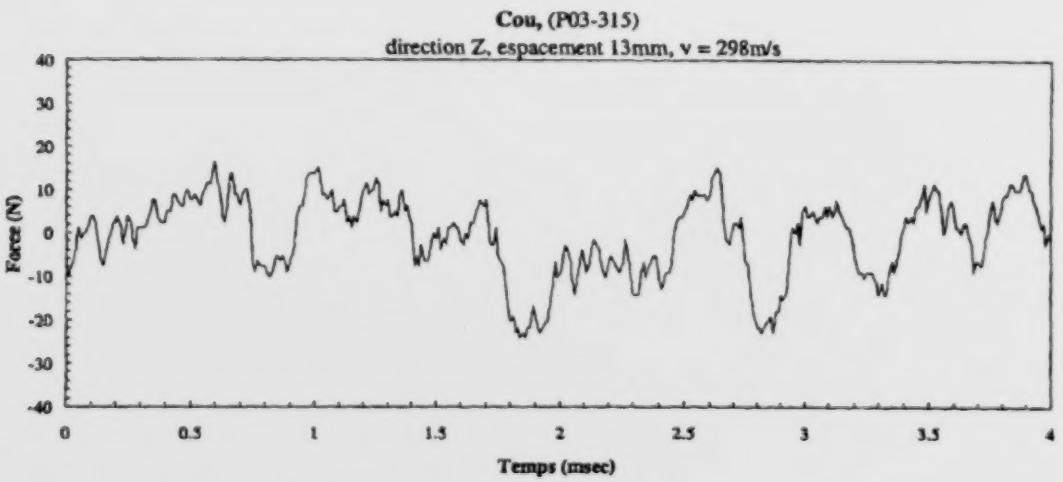



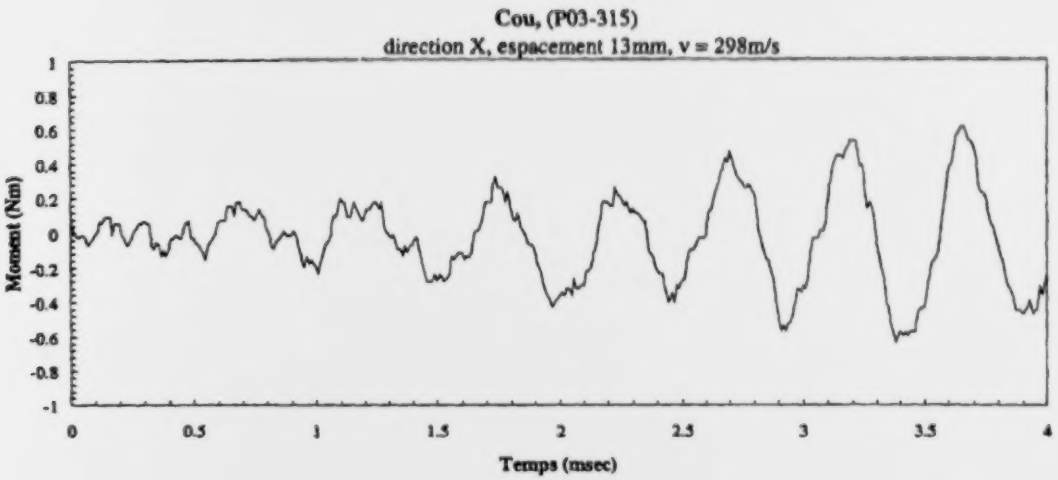

Accélération plaque P03-315

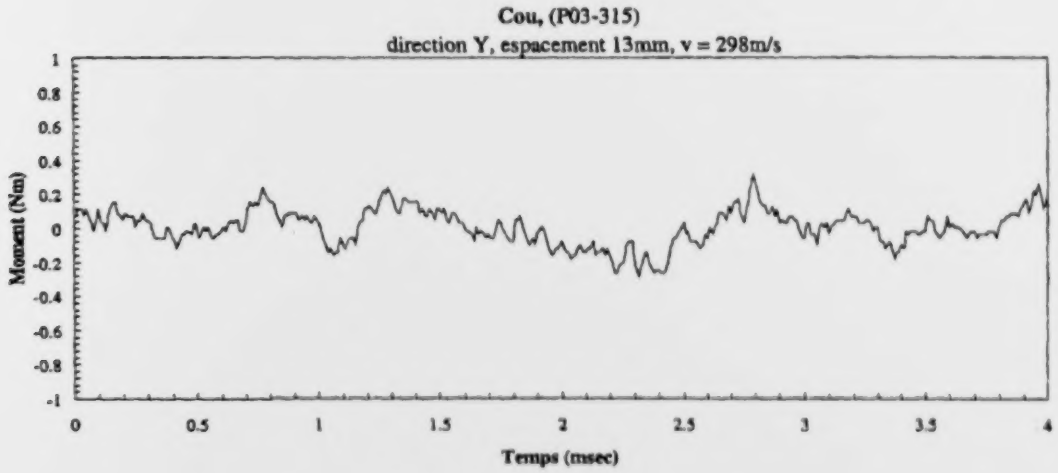


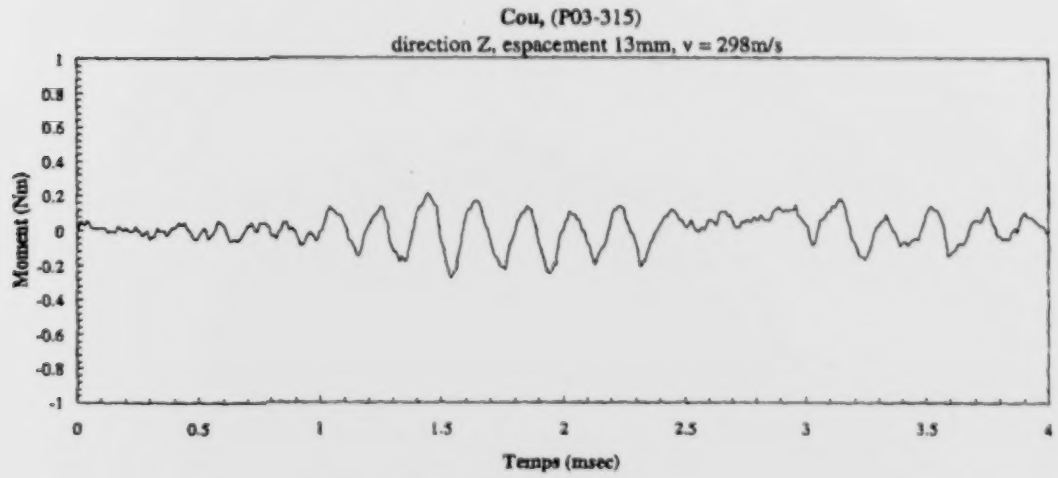



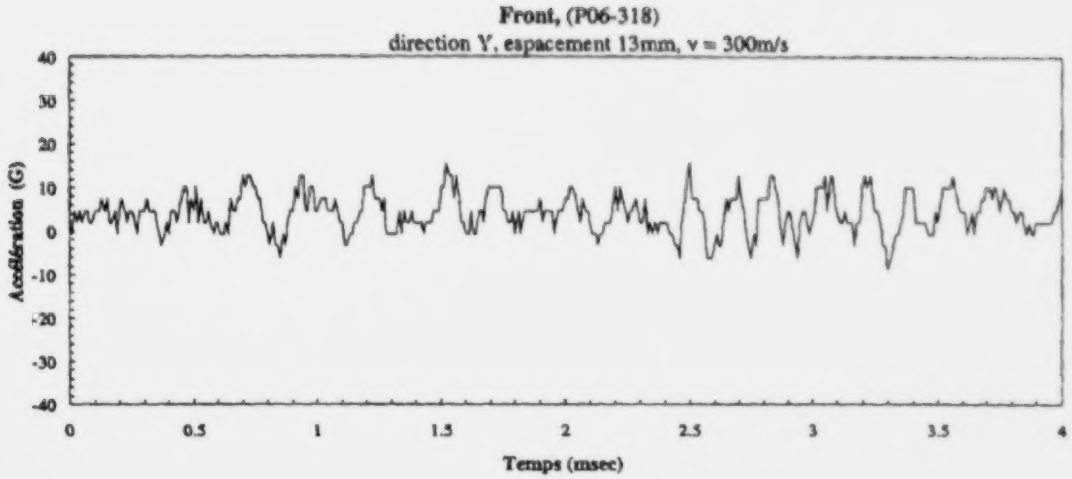

Accélération plaque P03-315

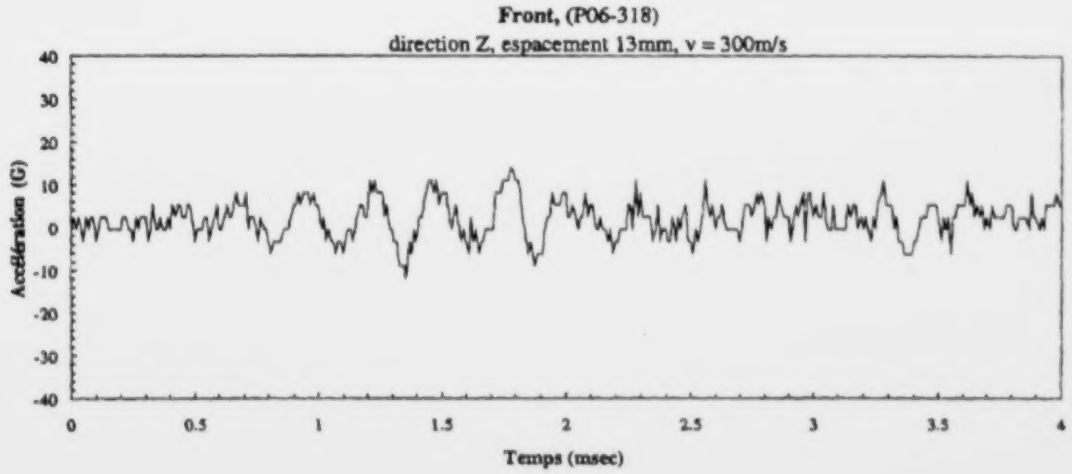


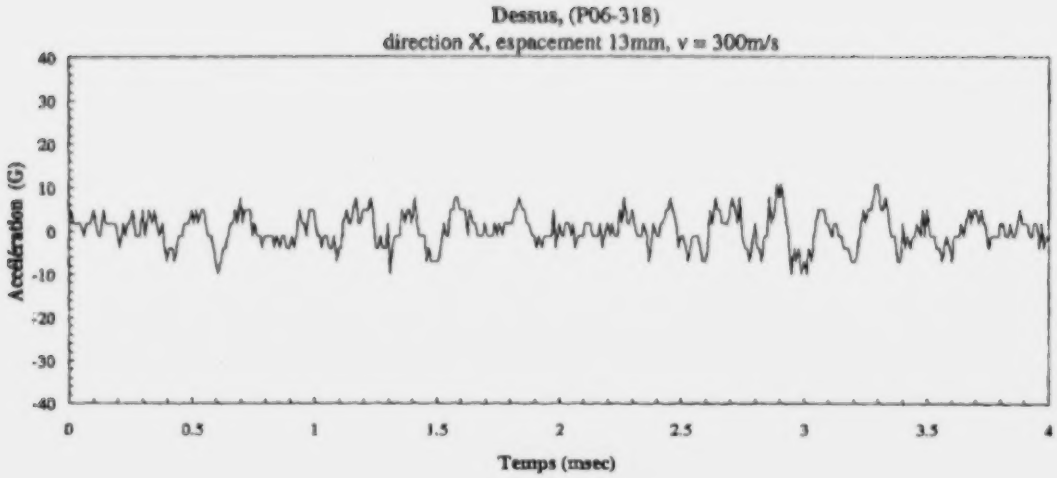



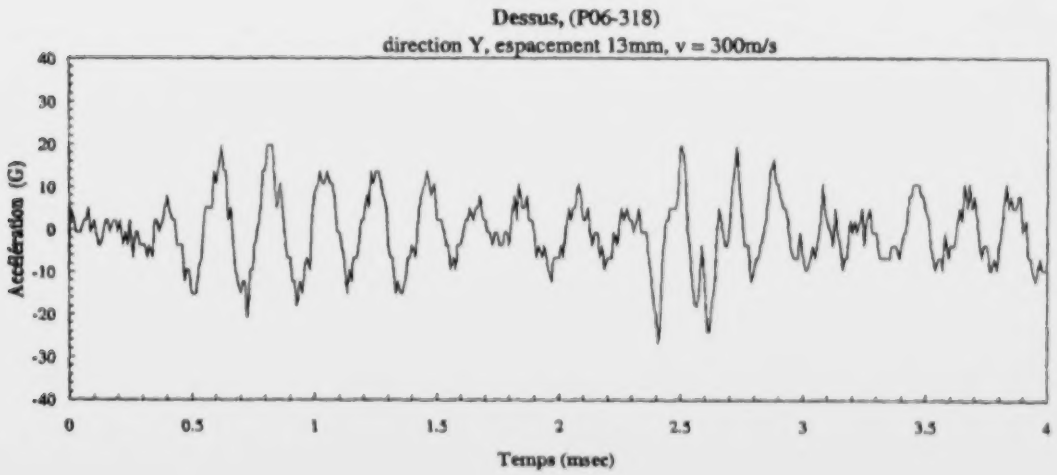

Accélération plaque P03-315



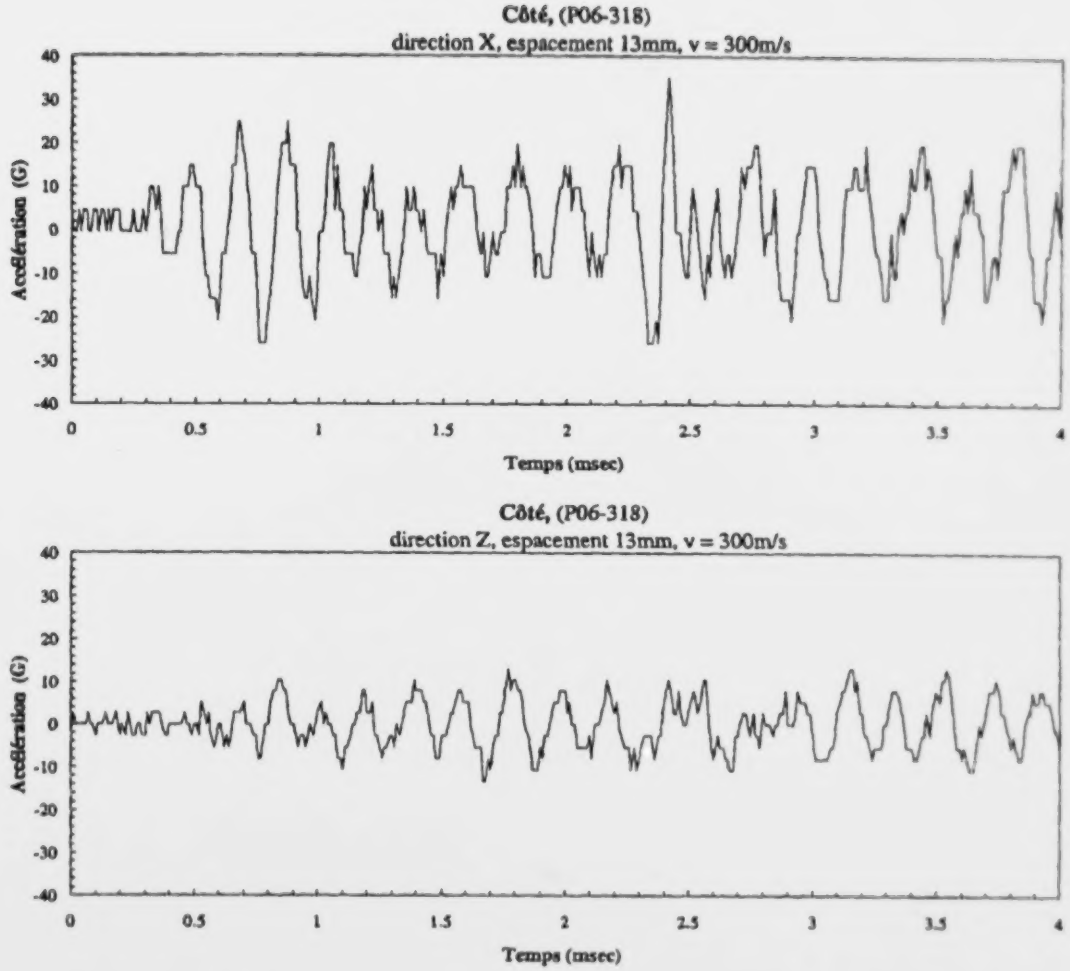




Accélération plaque P06-318

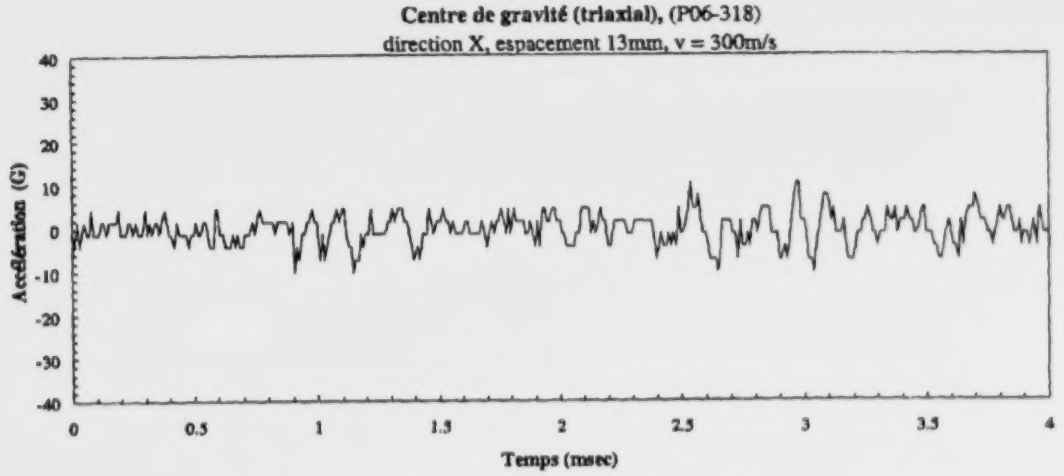


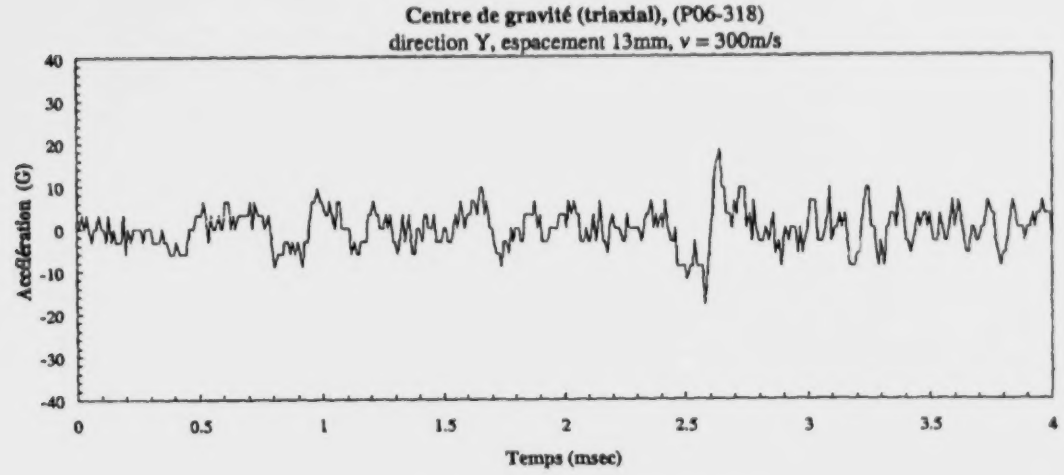



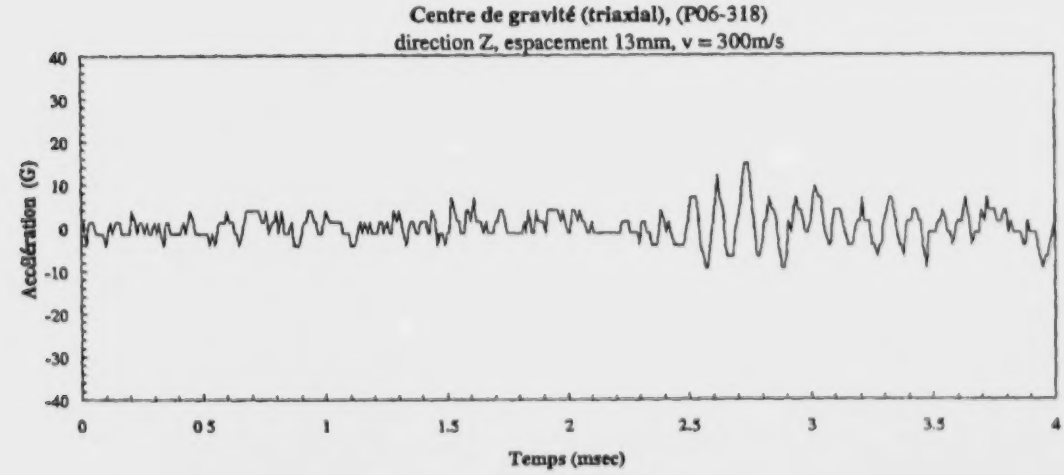

Accélération plaque P06-318



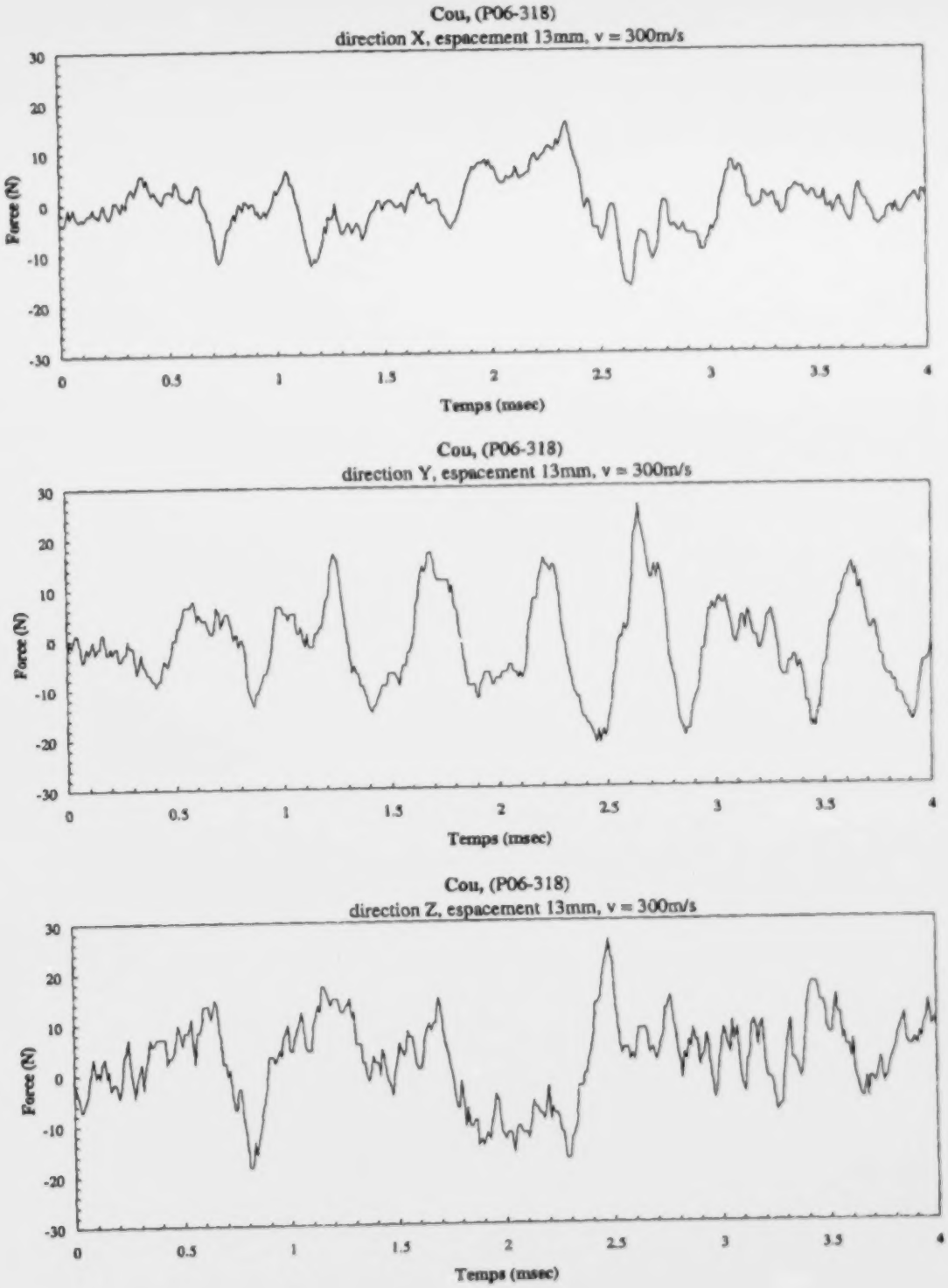

Accélération plaque P06-318



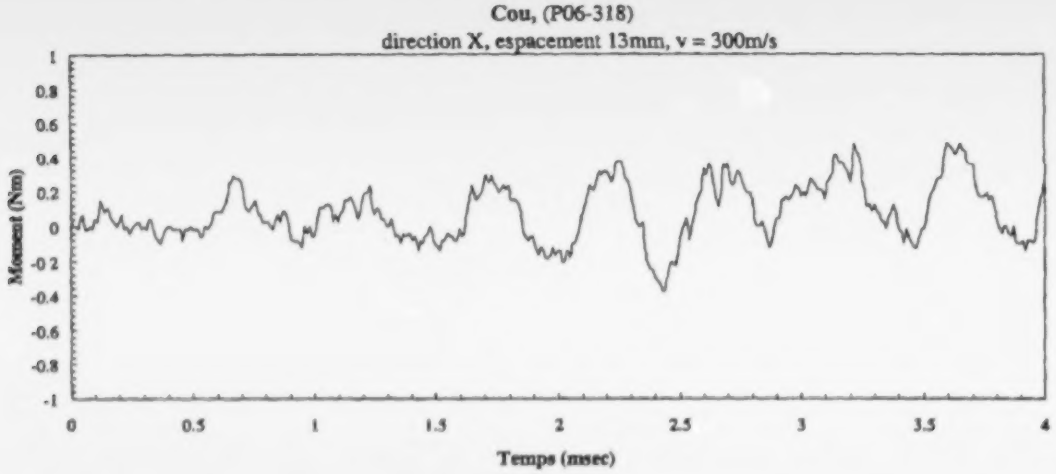



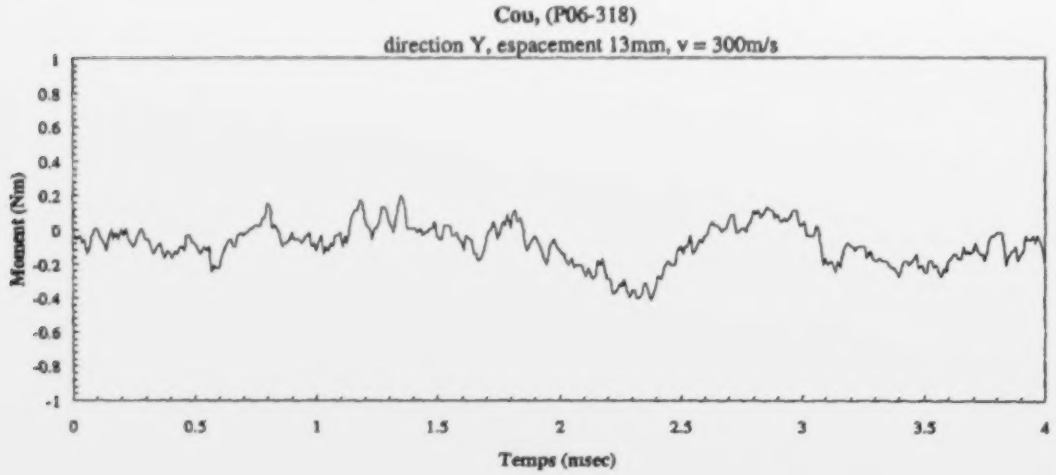



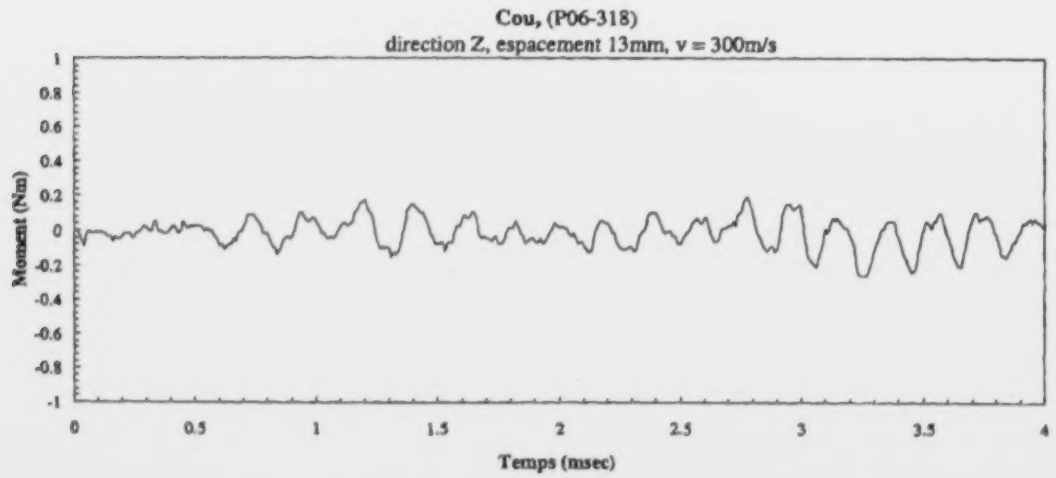

Accélération plaque P06-318



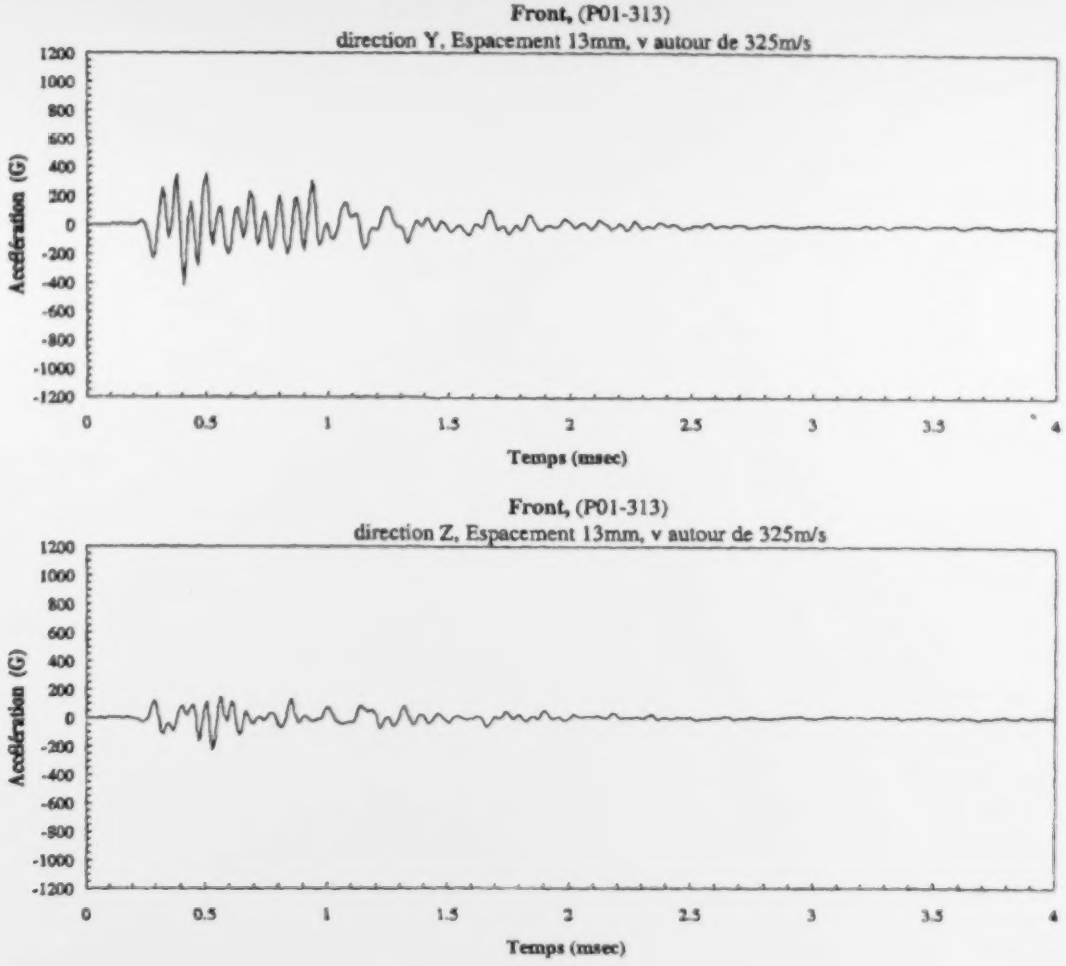

Accélération plaque P06-318



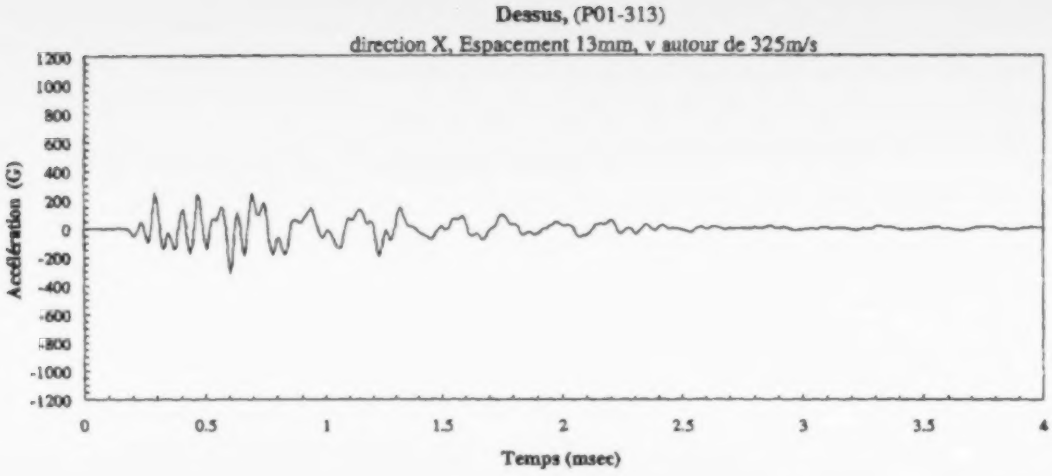



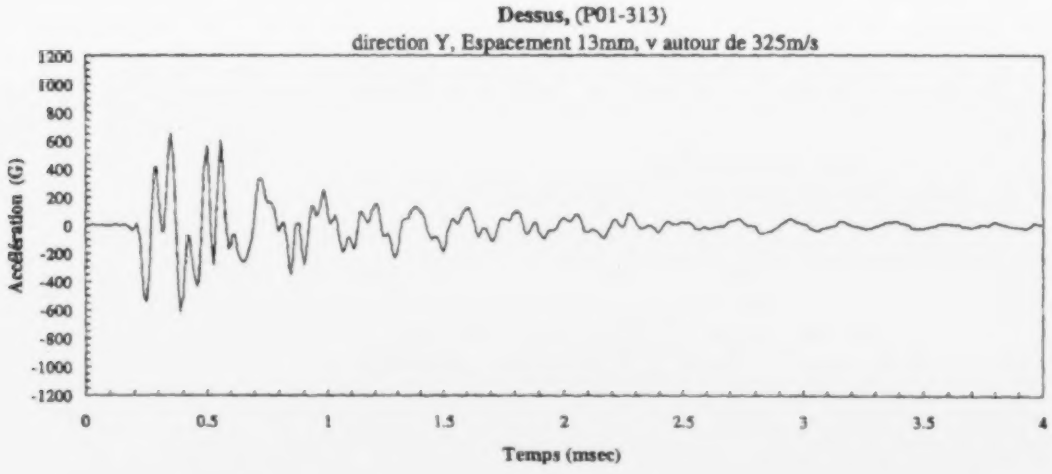




Accélération plaque P06-318

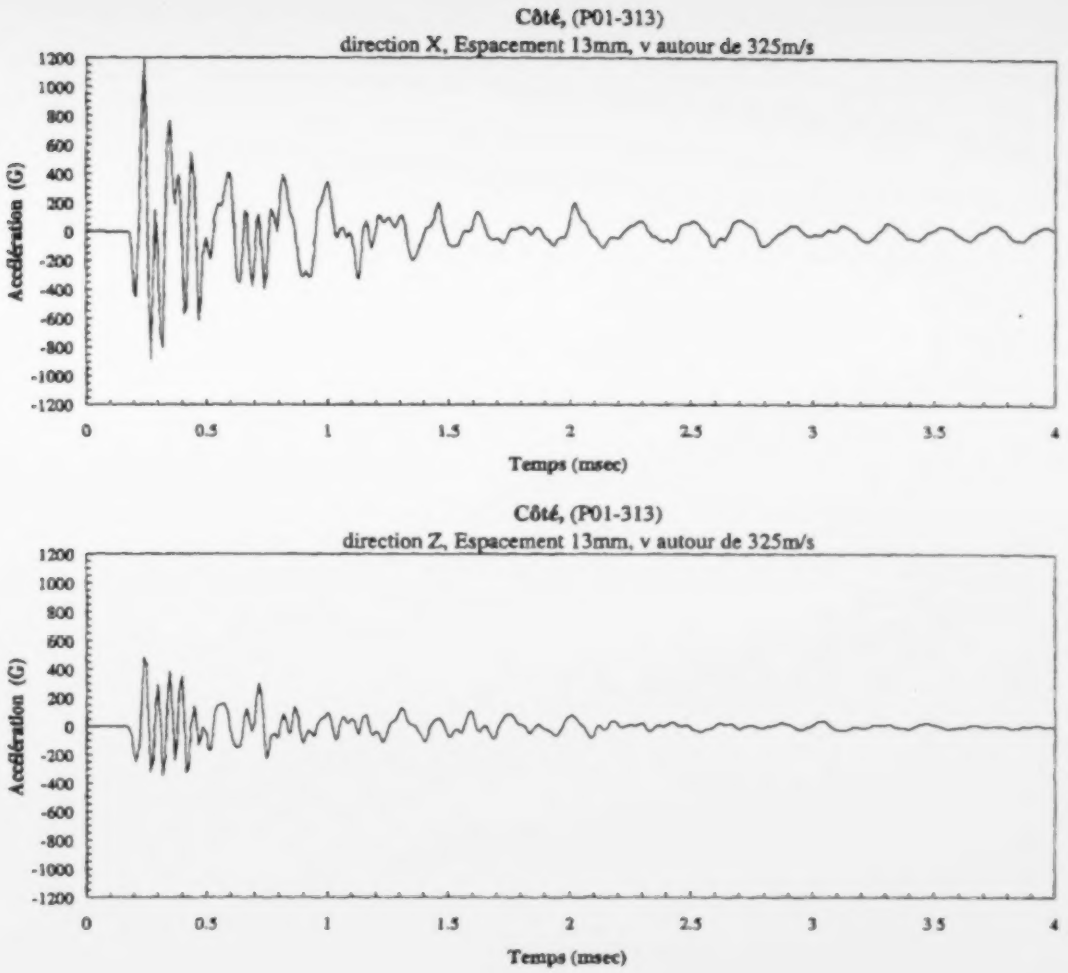



Accélération plaque P01-313

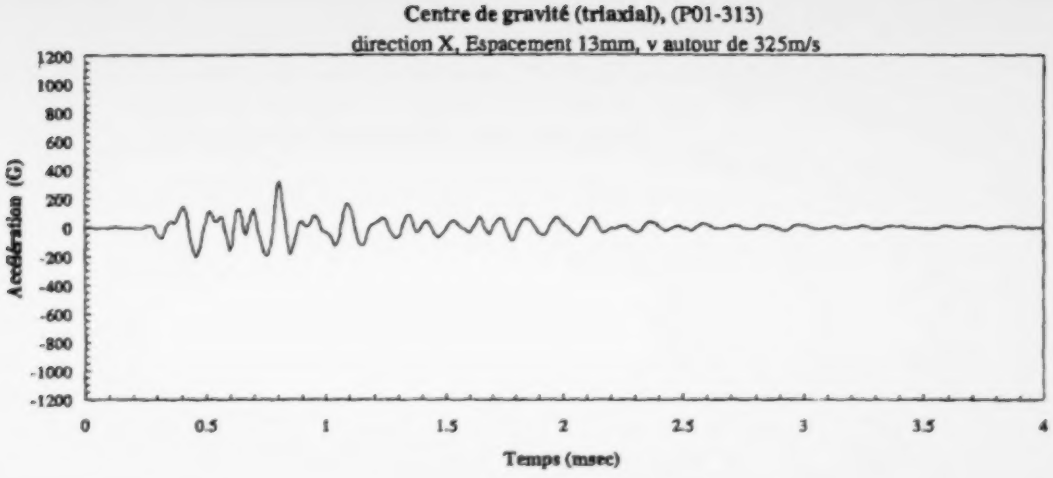


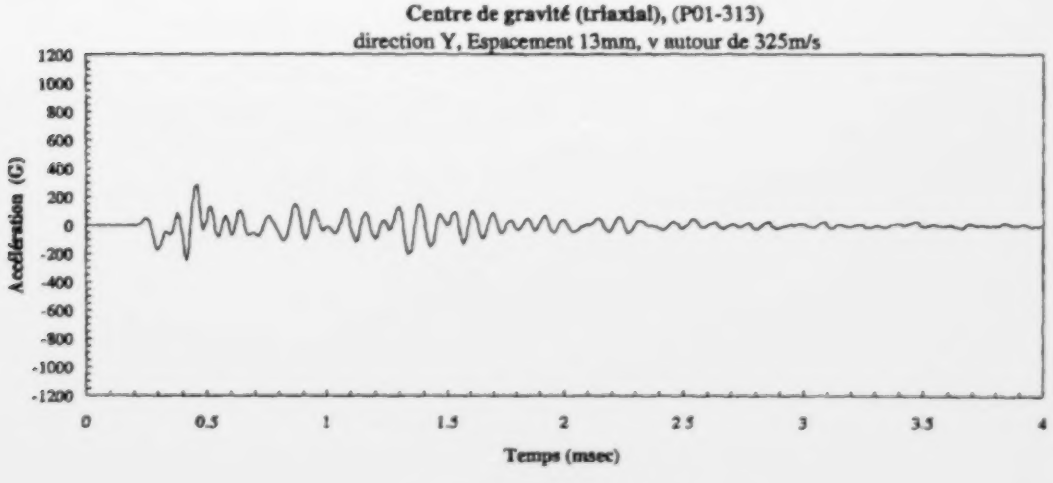



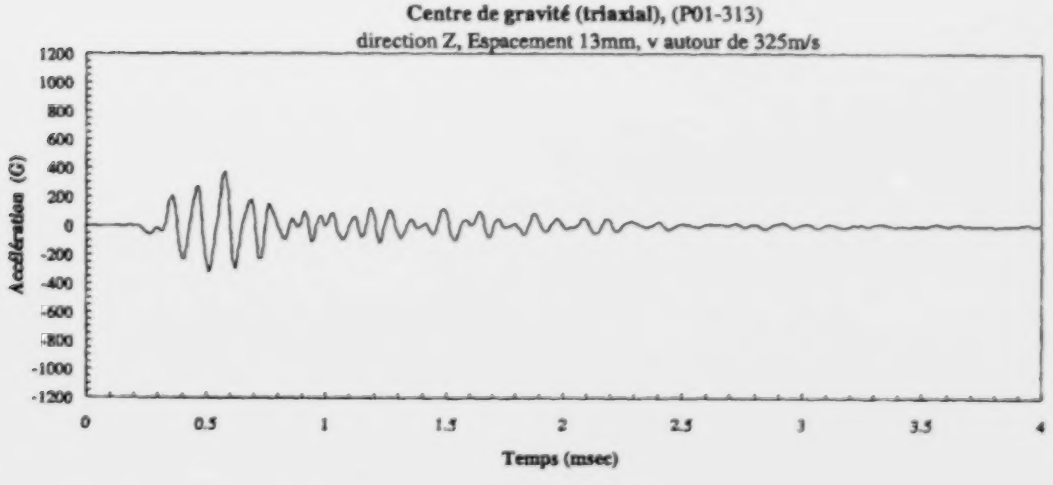

Accélération plaque P01-313



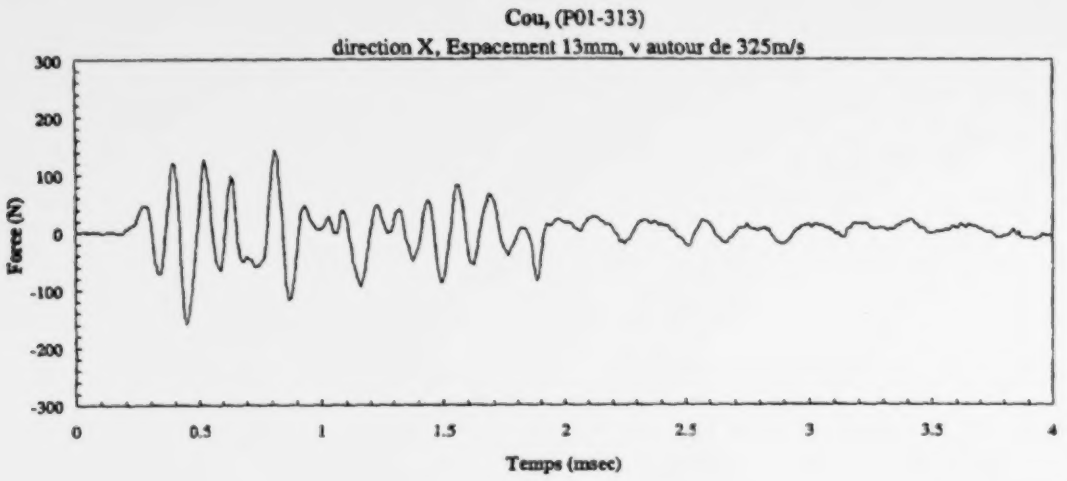

Accélération plaque P01-313

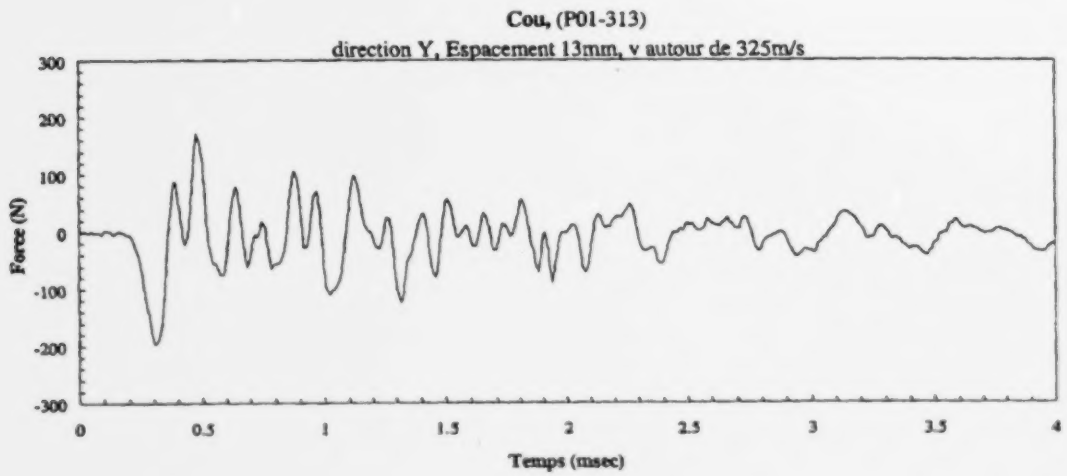


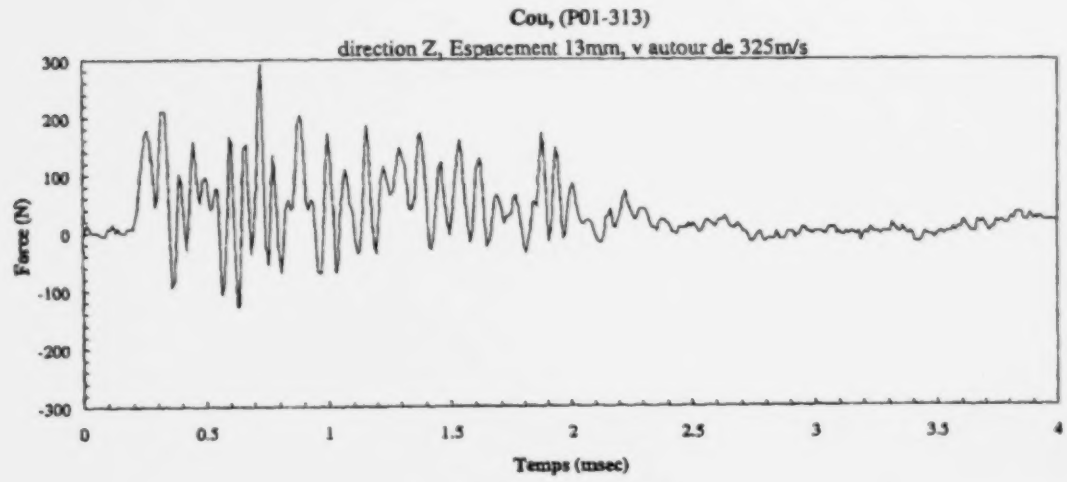



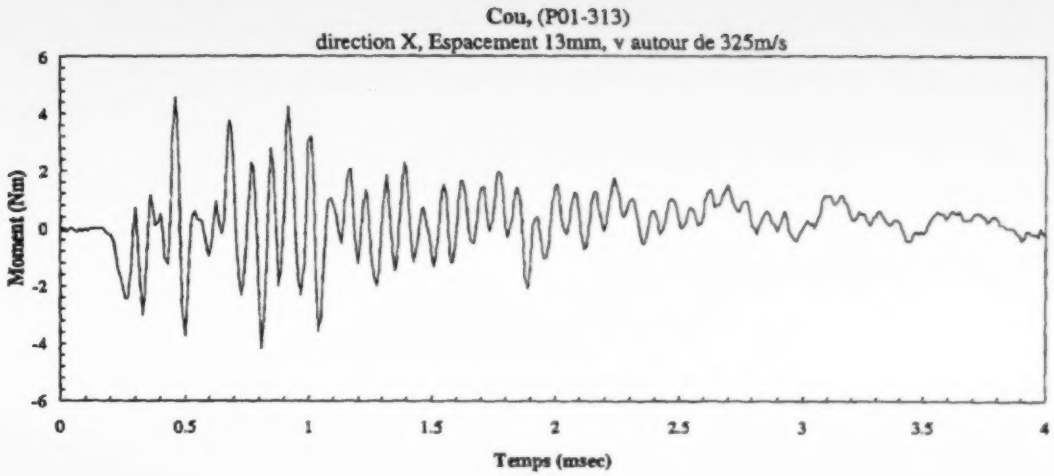

Accélération plaque P01-313

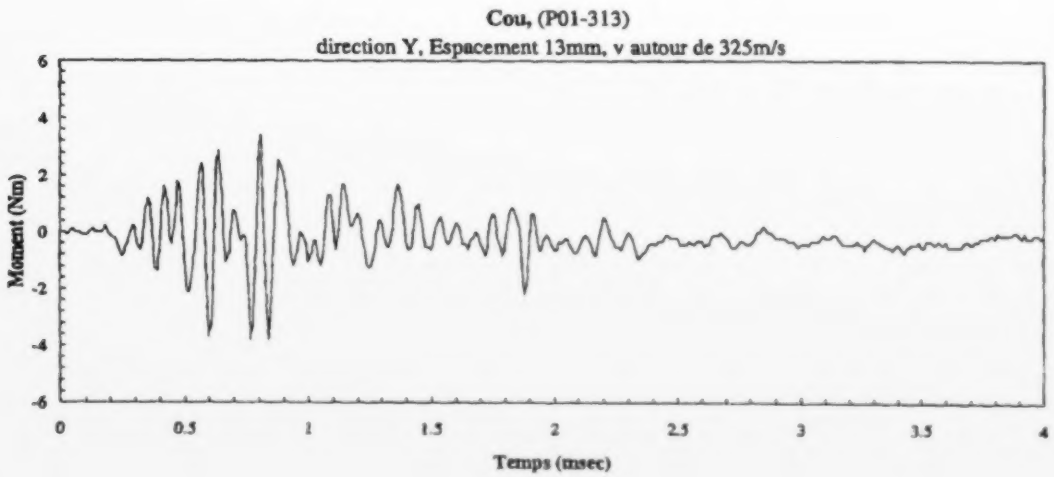


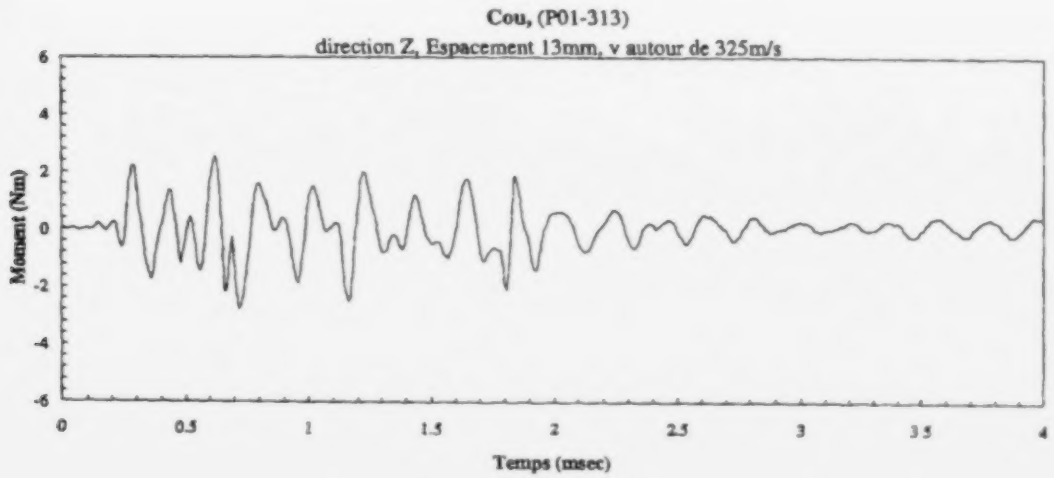



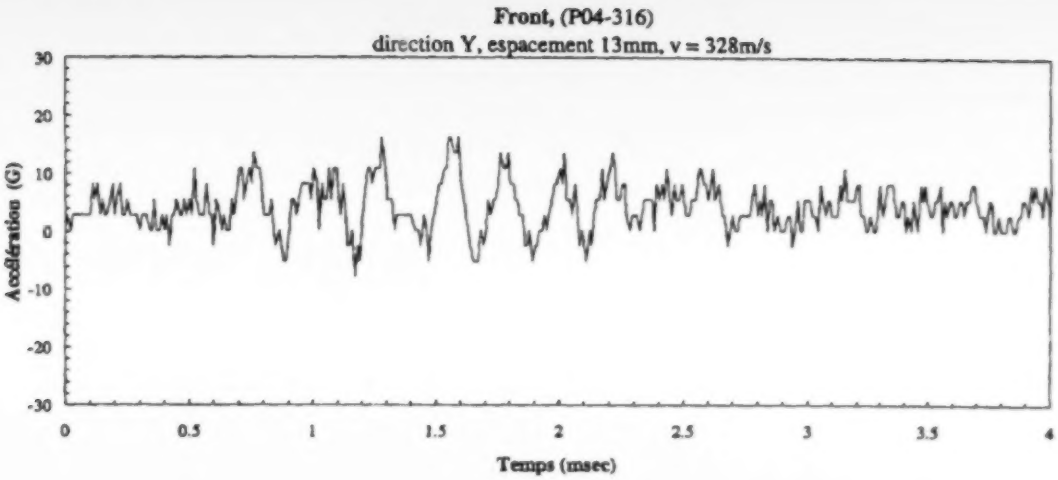

Accélération plaque P01-313

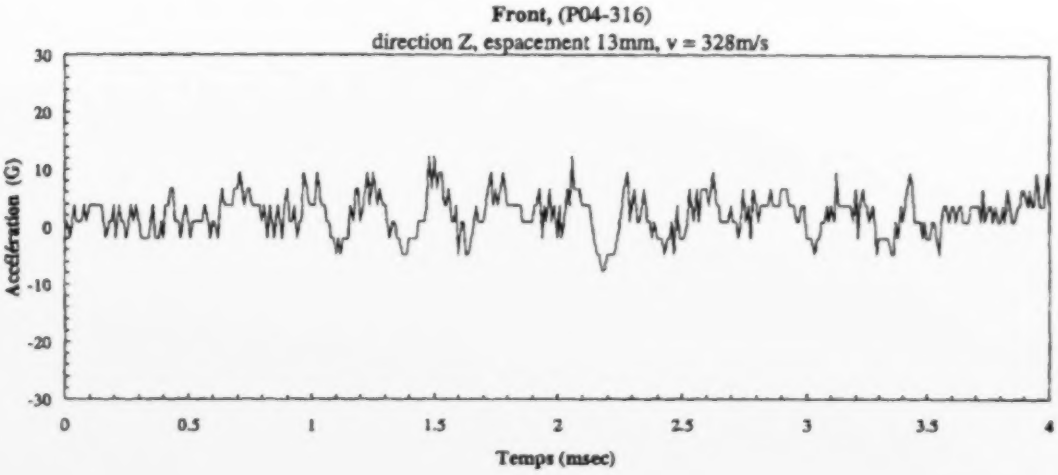


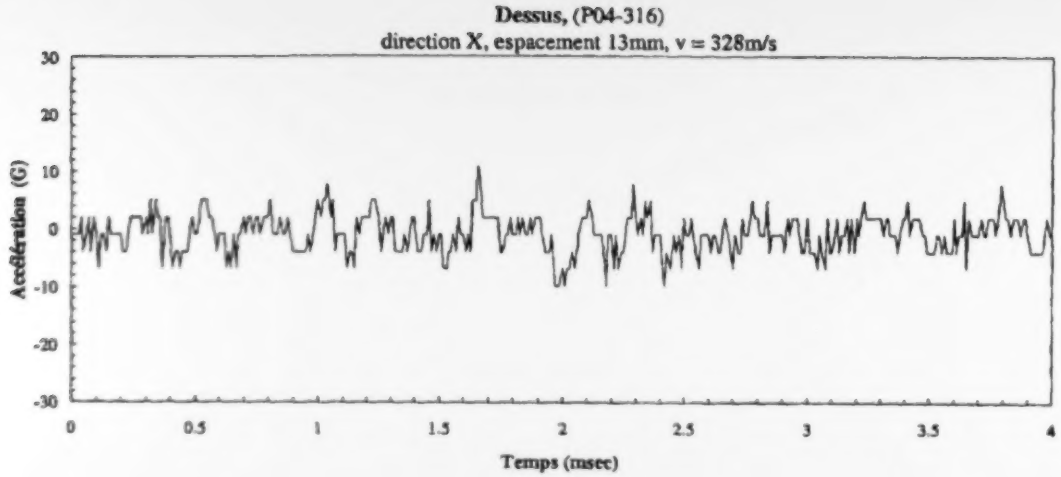



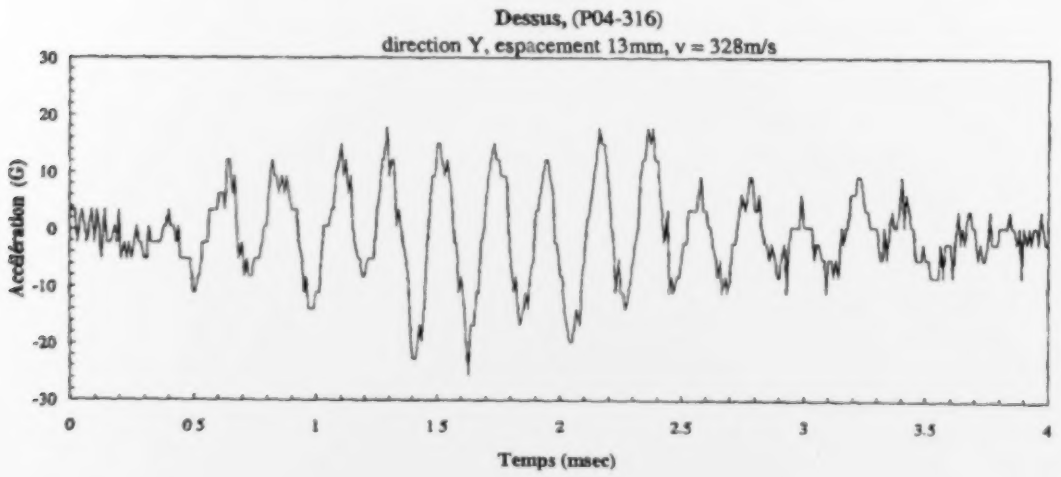

Accélération plaque P01-313



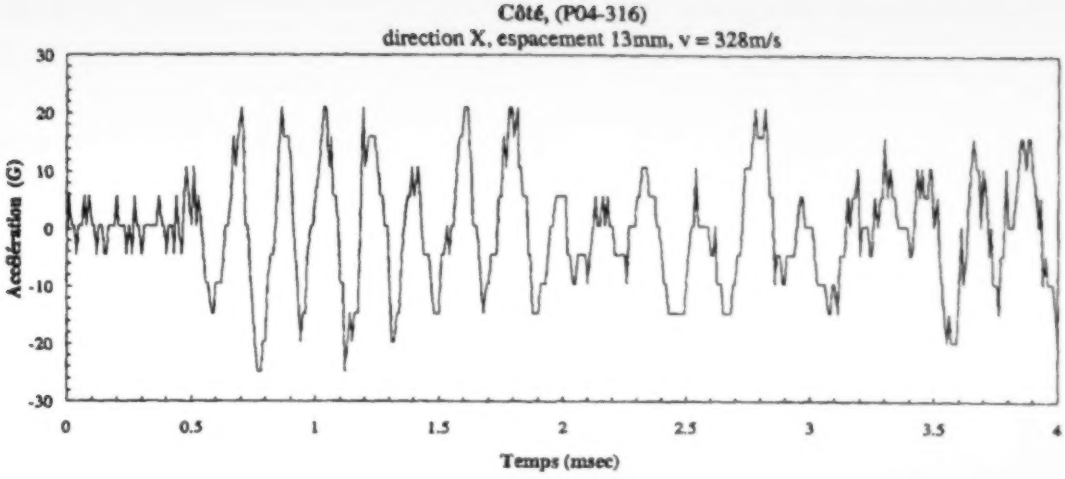



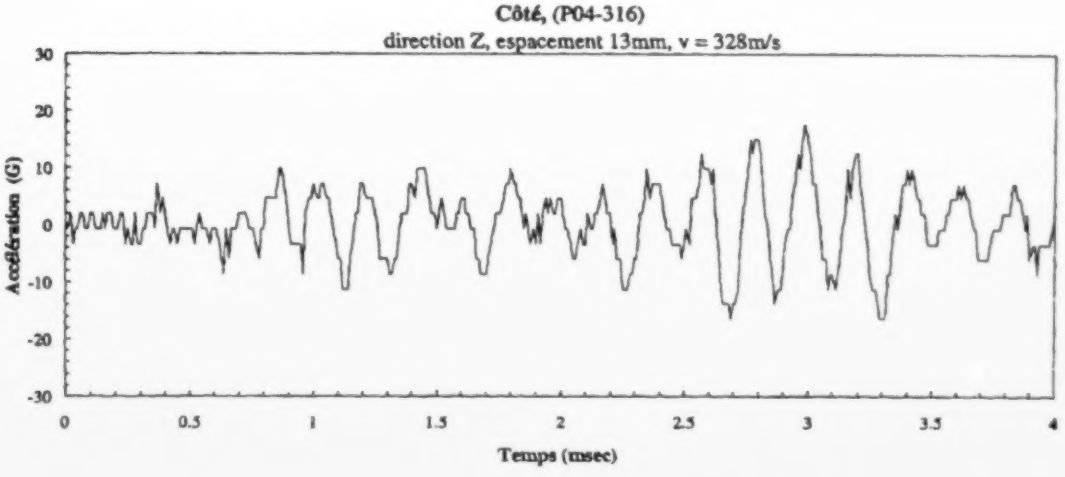

Accélération plaque P04-316



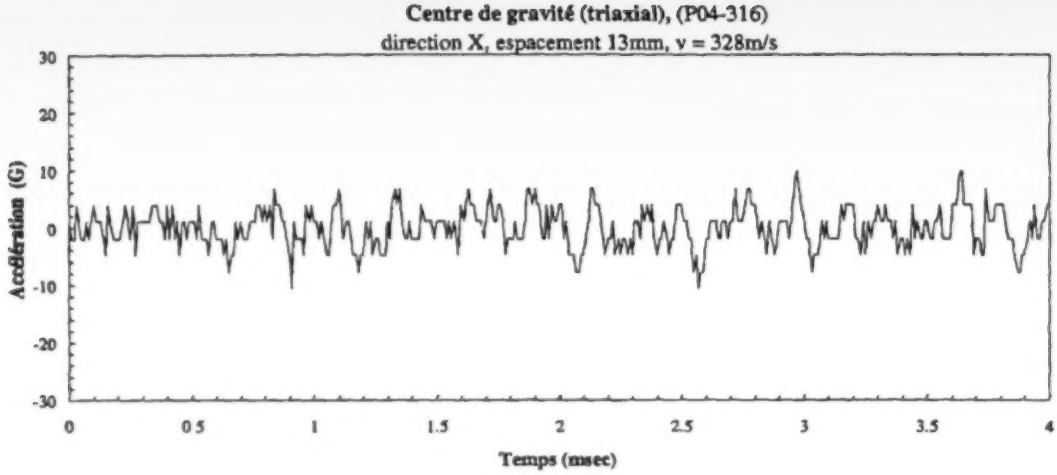



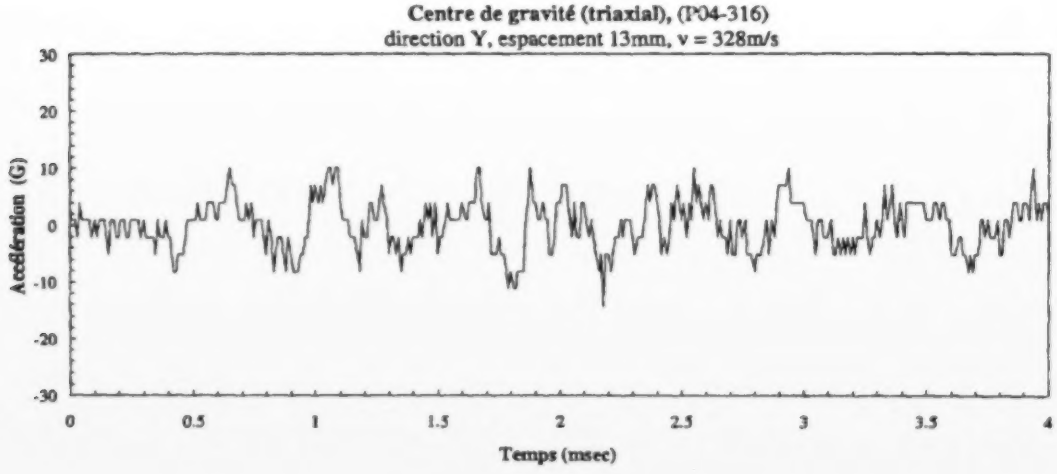

Accélération plaque P04-316

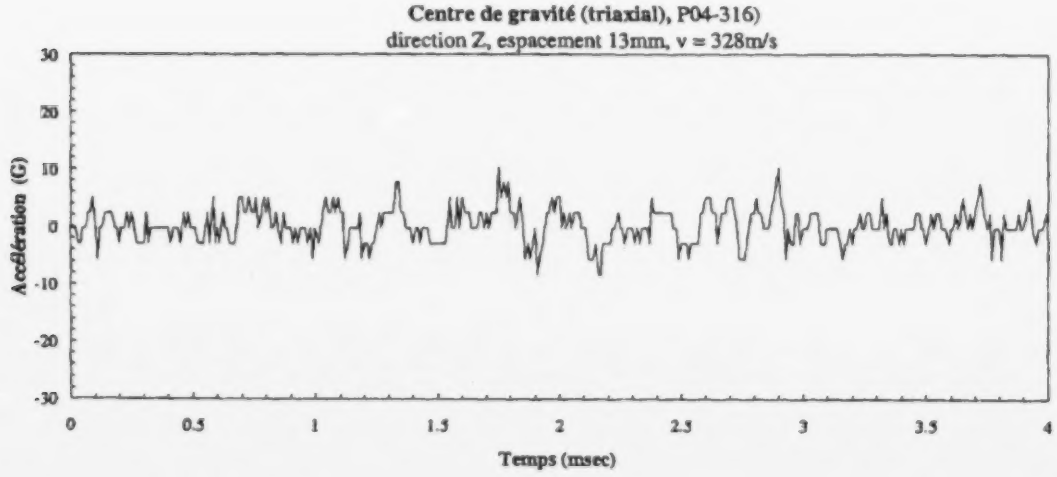


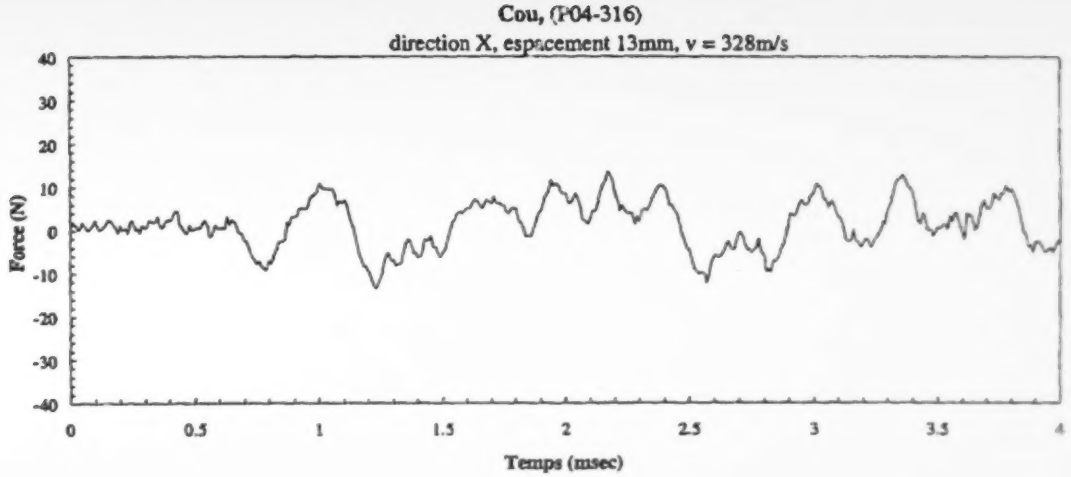

Accélération plaque P04-316

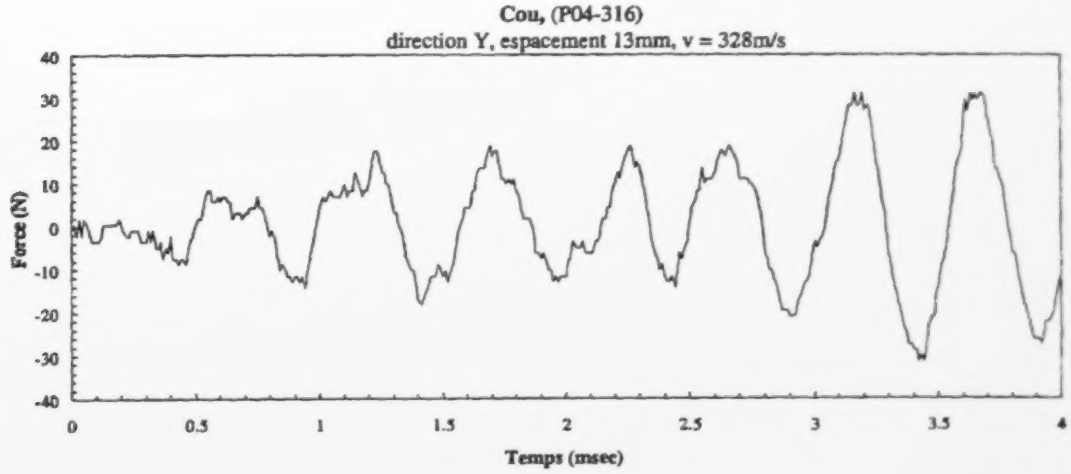


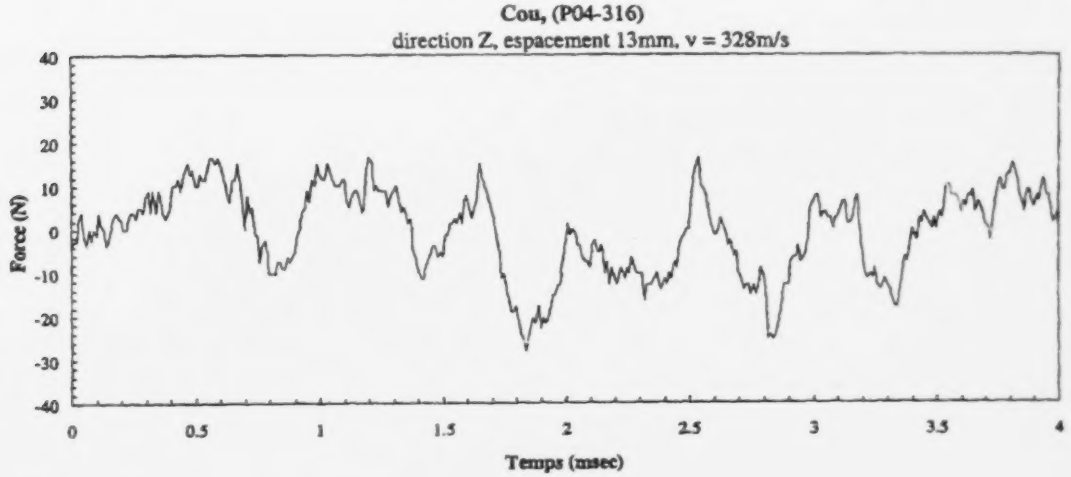



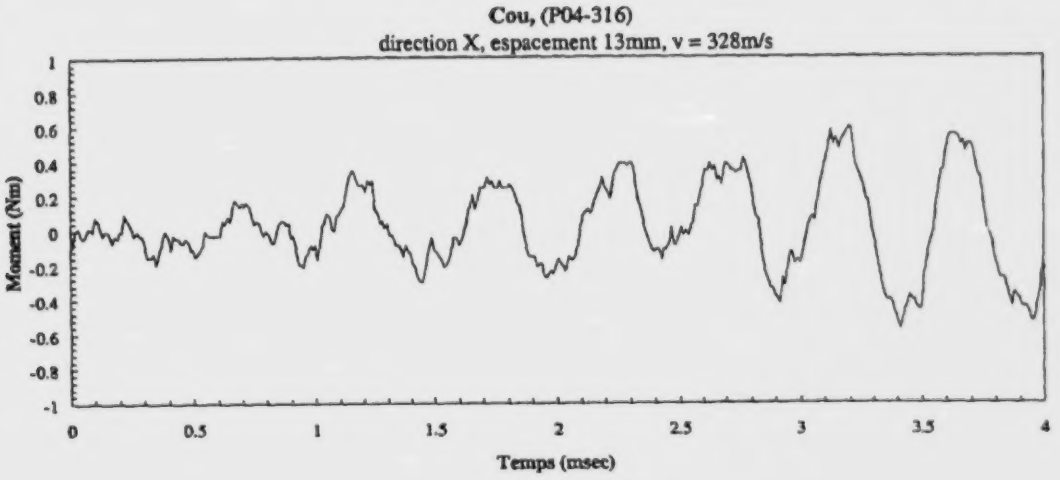

Accélération plaque P04-316

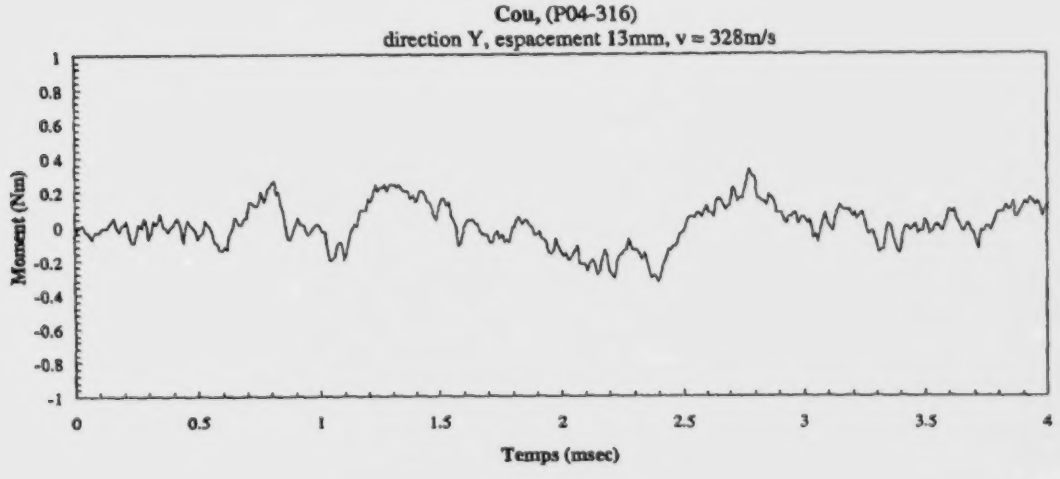


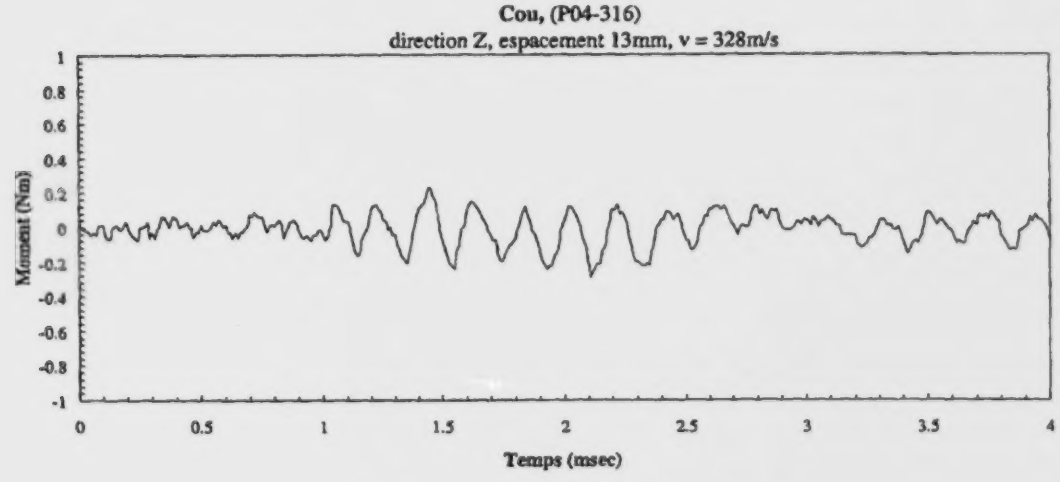



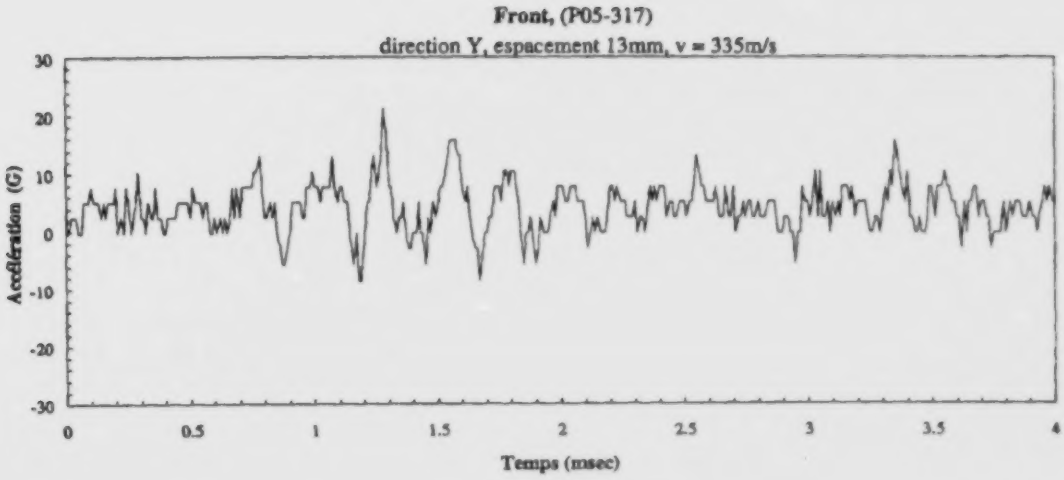

Accélération plaque P04-316

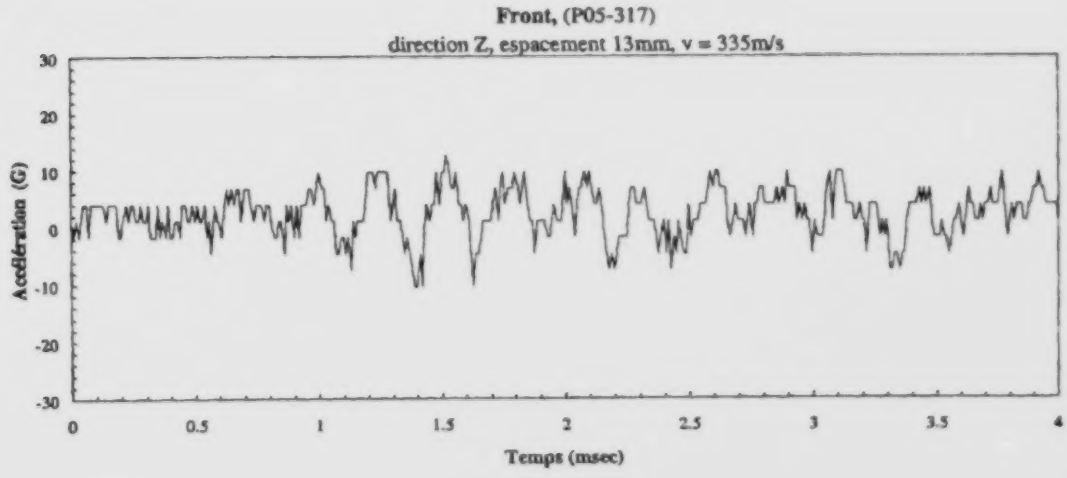


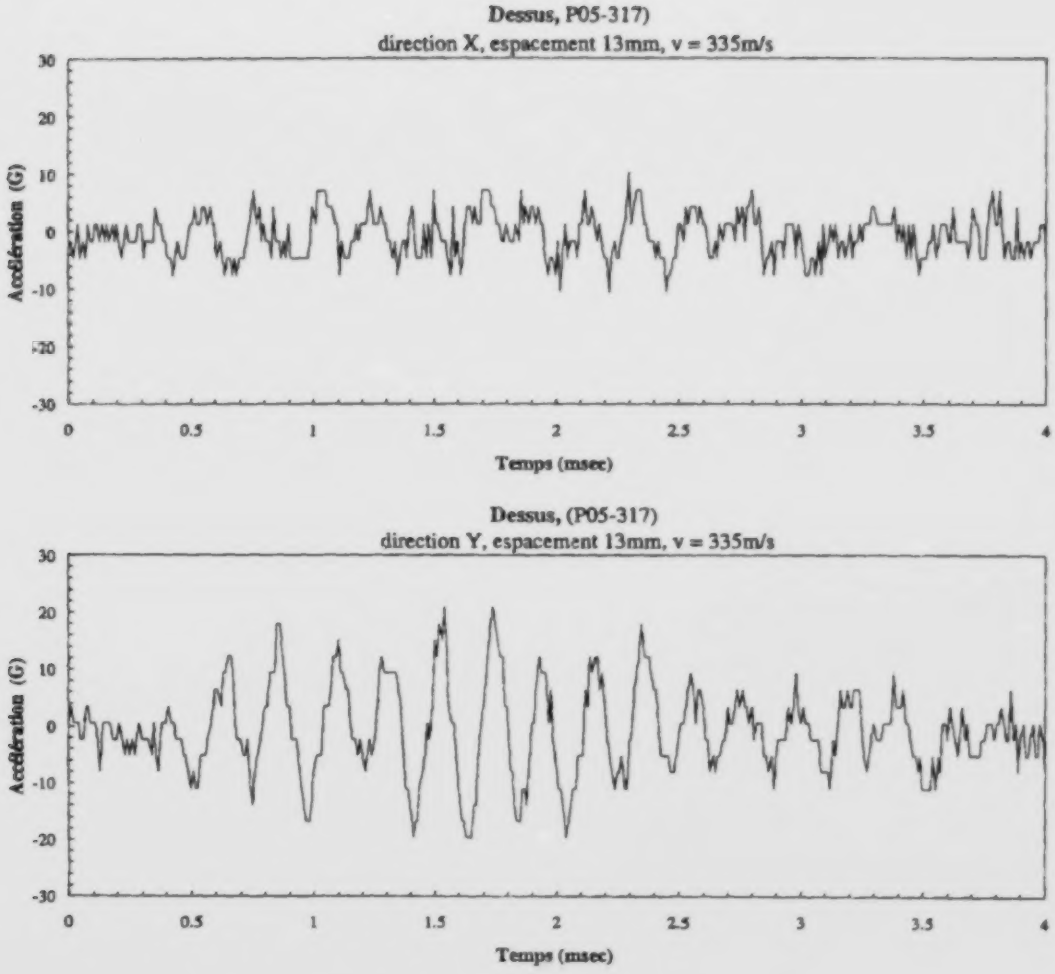




Accélération plaque P04-316

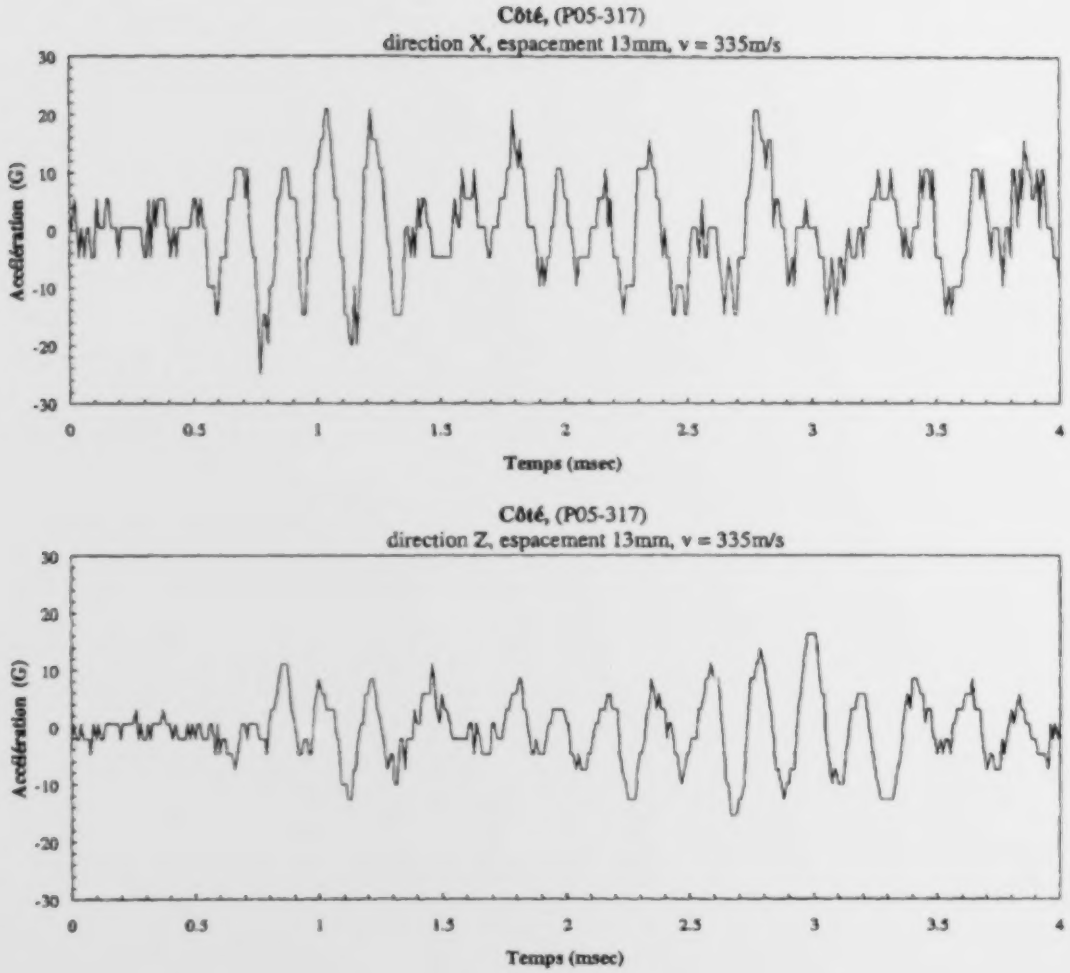


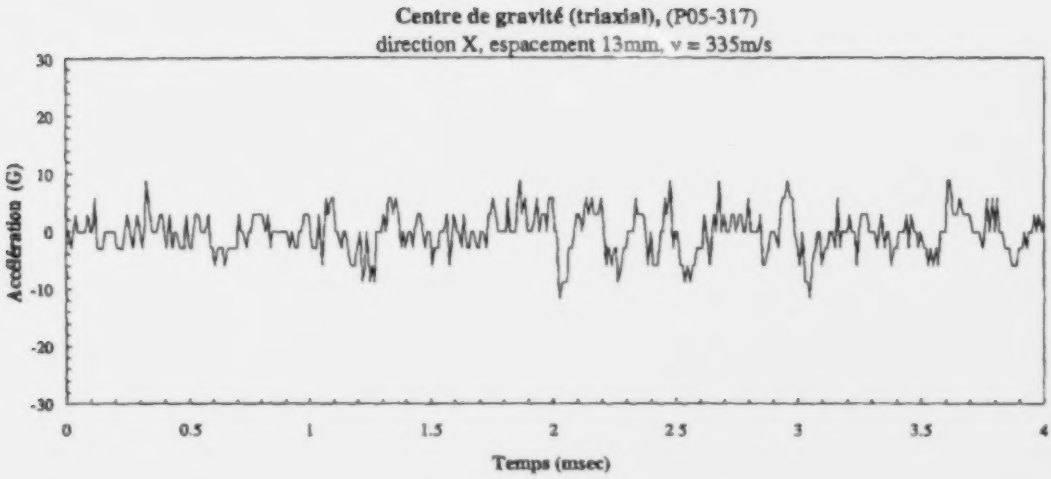

Accélération plaque P05-317

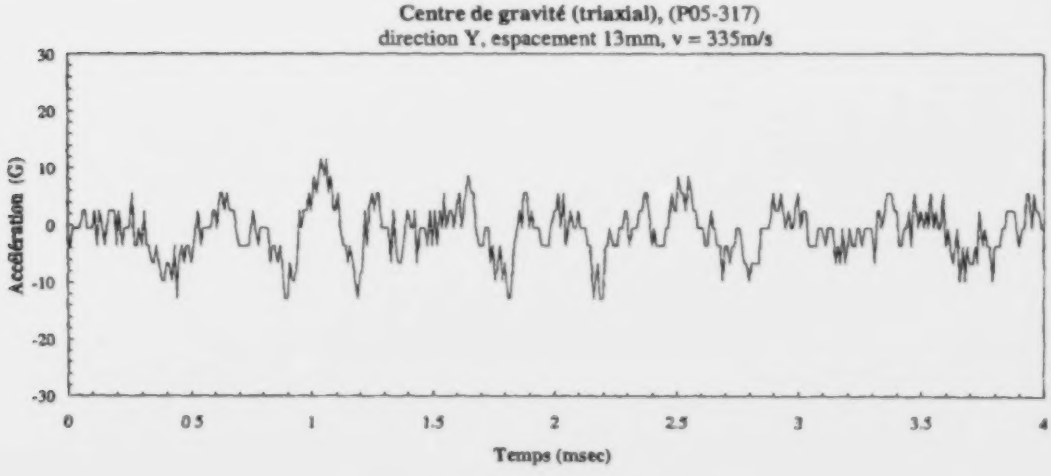


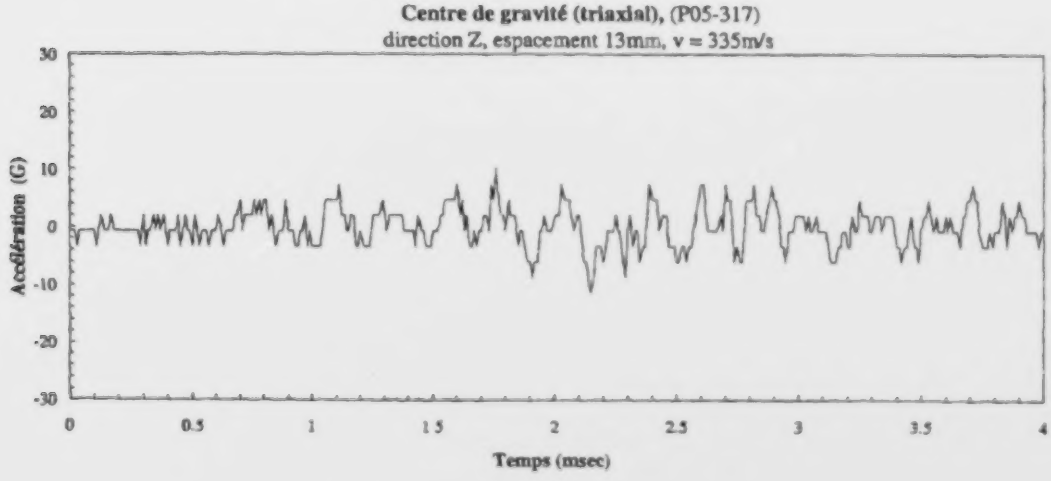

Accélération plaque P05-317



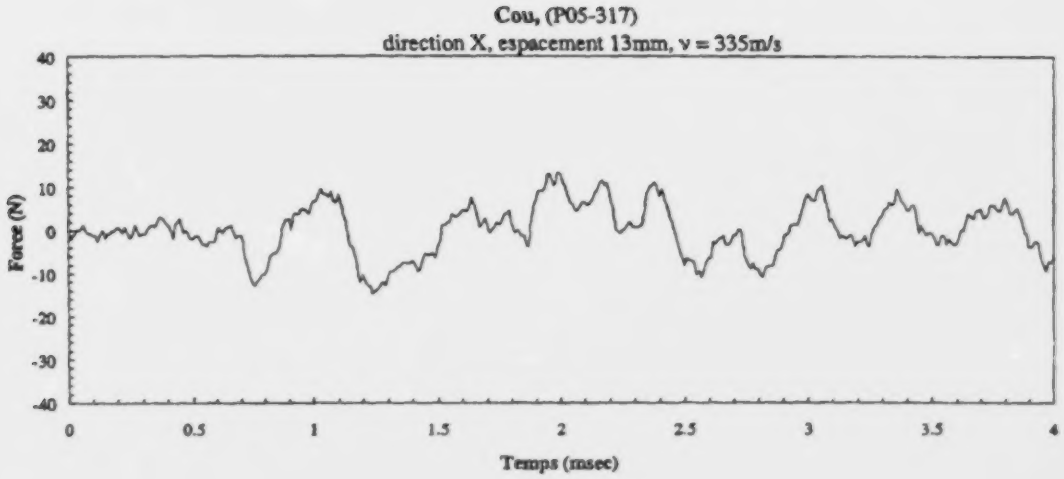

Accélération plaque P05-317

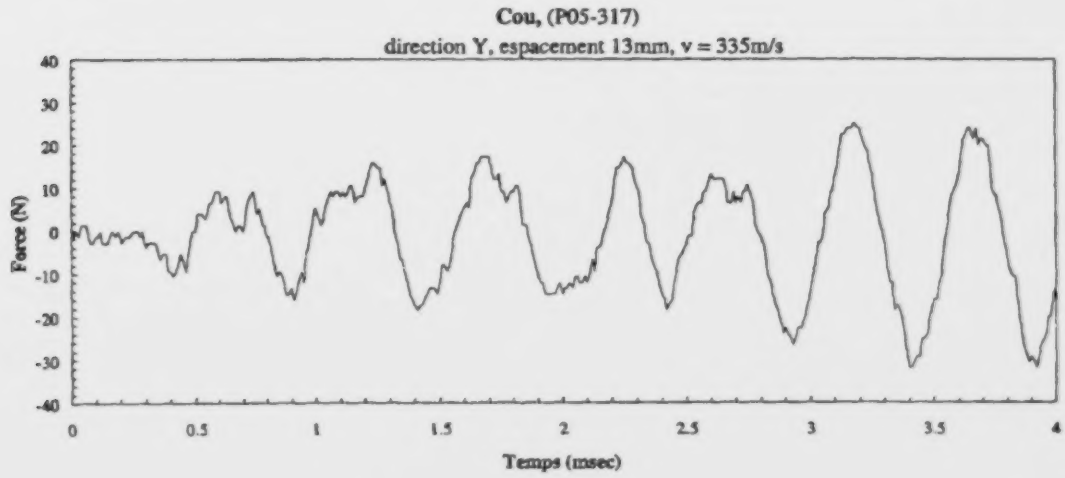


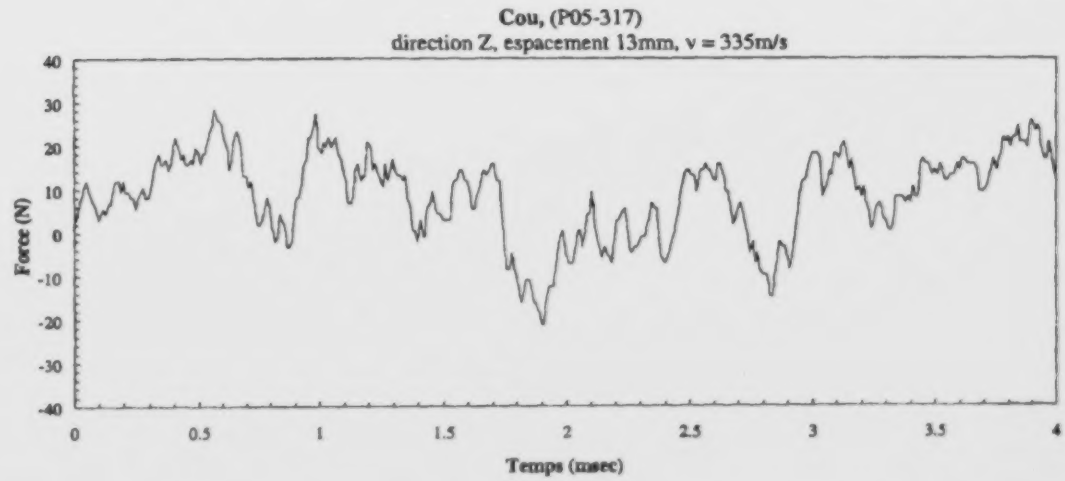



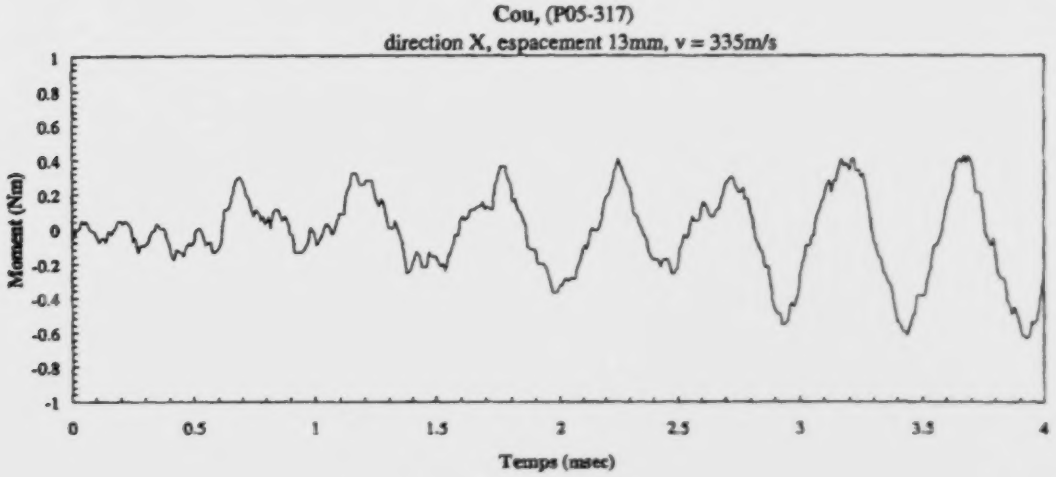

Accélération plaque P05-317

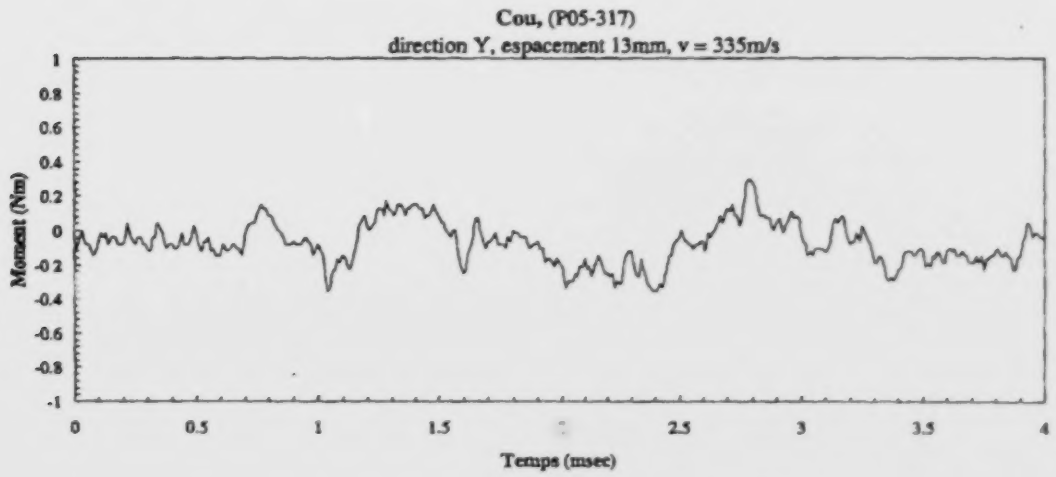


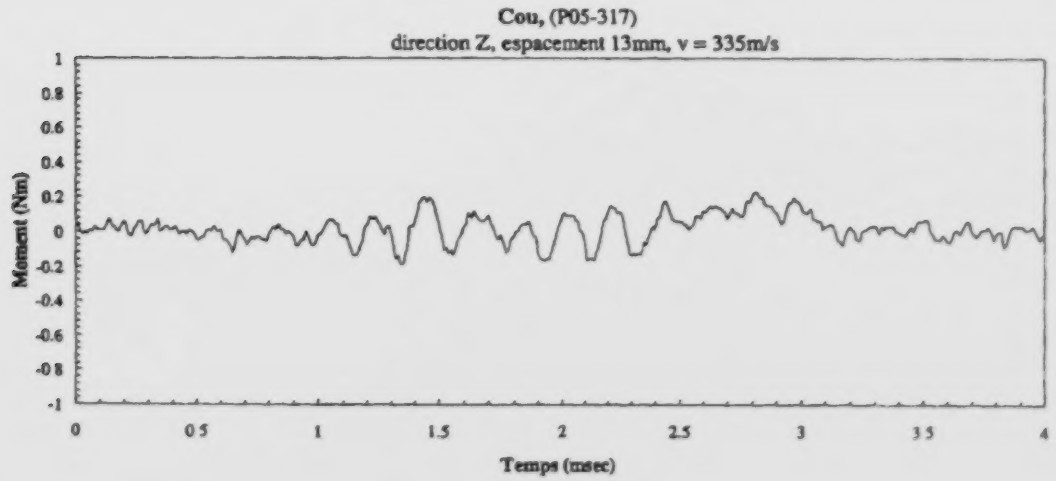




Accélération plaque P05-317



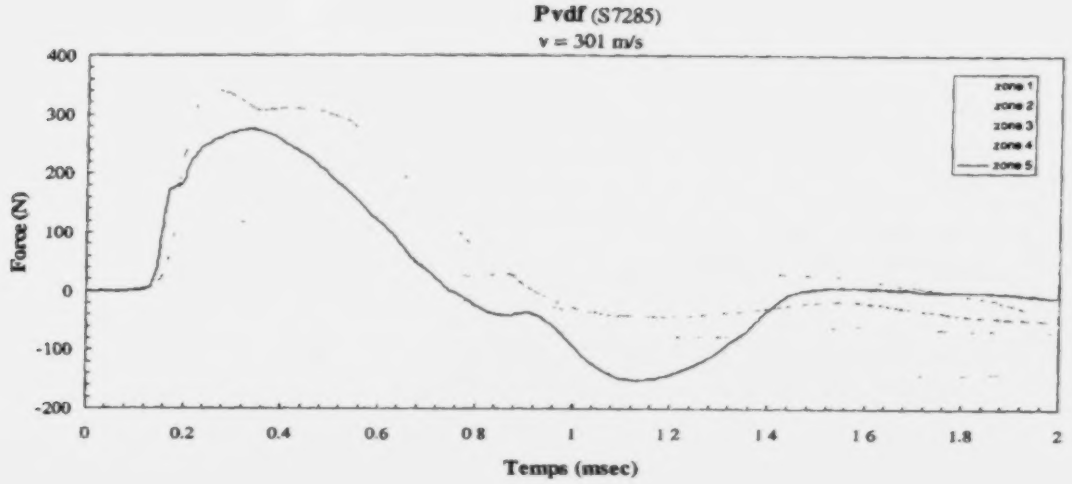

Accélération plaque P05-317

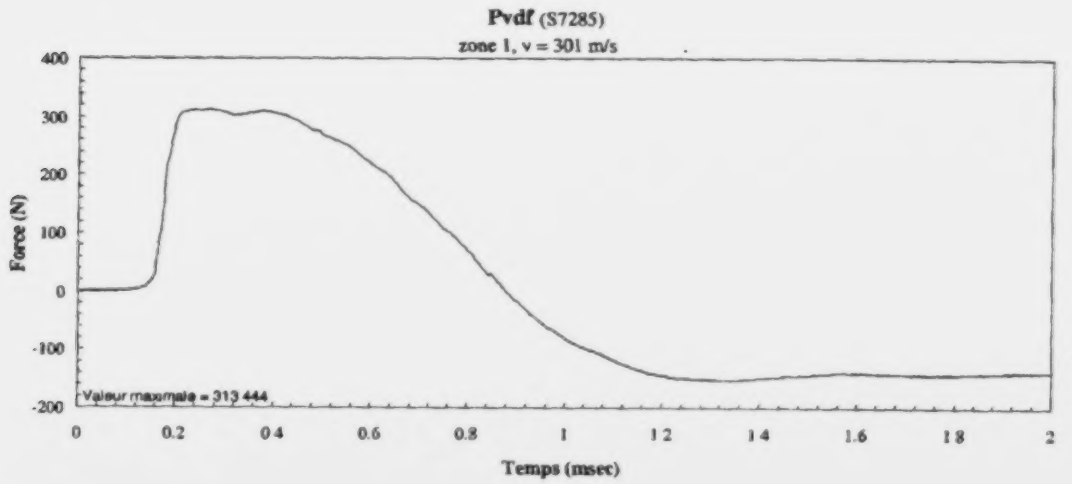
# Annexes C

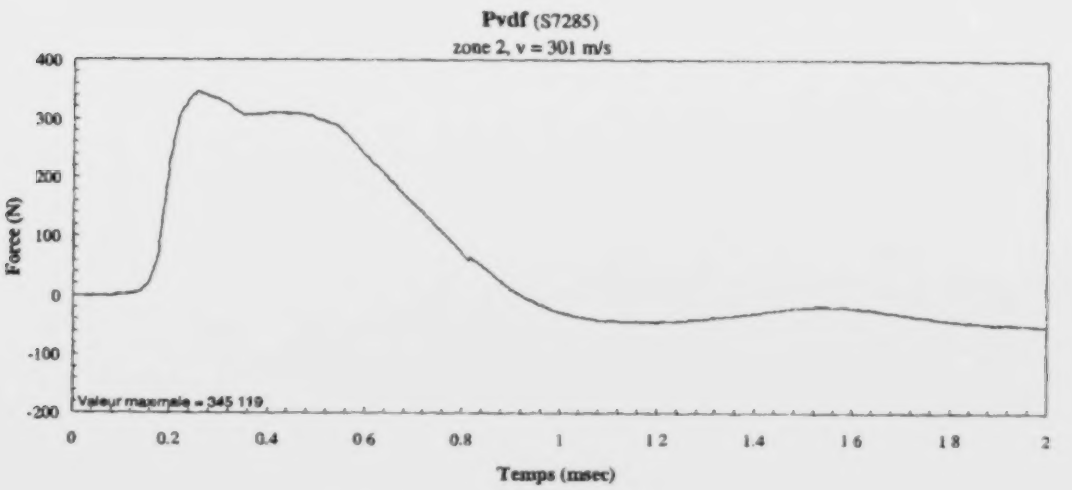
Les figures qui suivent montrent les résultats des casques pour les forces de contacts, les accélérations, les forces et moments au cou. Pour faciliter l'observation des variations des résultats, les résultats pour les forces de contact sont montrés en premier et selon l'ordre donné par le tableau suivant. Les accélérations suivent et finalement, les forces et moments au cou sont présentées toujours selon l'ordre du tableau. La vitesse détermine l'ordre des graphiques. Les forces de contact sont présentées selon la zone du capteur PVDF. Pour chaque casque, le premier graphique montre la compilation des 5 zones de contacts. Les 5 autres graphiques montrent séparément chacune des 5 zones de contactes. Les accélérations, les forces et moments au cou ne sont pas filtrés et sont présentées selon la position des instruments de mesure dans la tête instrumentée (front, dessus, côté, centre de gravité et cou). À noter que le casque S7284 n'a pas de force de contact dû à un problème lors de l'acquisition des données.

*Liste des graphiques - casques*

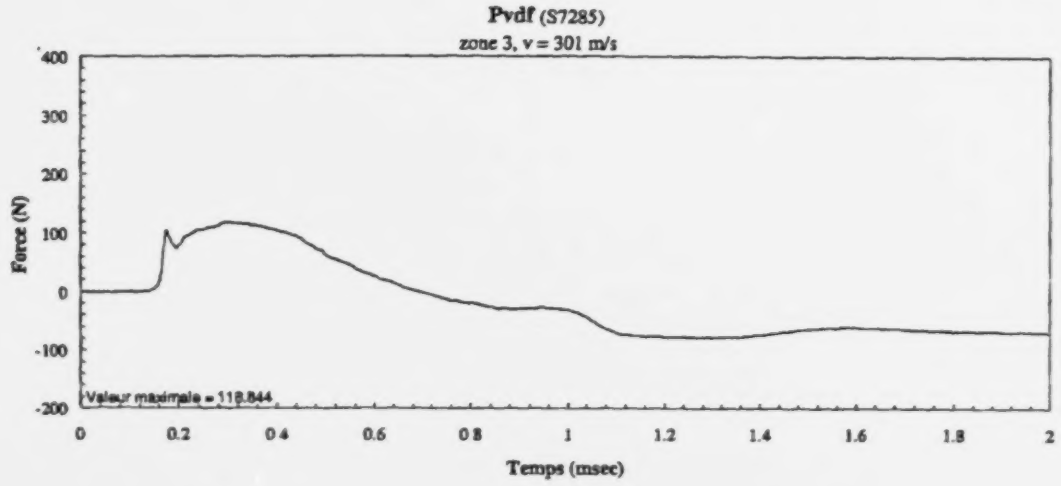
| Échantillons | Vitesse m/s |
|---|---|
| S7284 | 300 |
| S7285 | 301 |
| S7286 | 303 |
| S7264 | 321 |
| S7271 | 321 |
| S7262 | 328 |
| S7297 | 350 |
| S7298 | 350 |

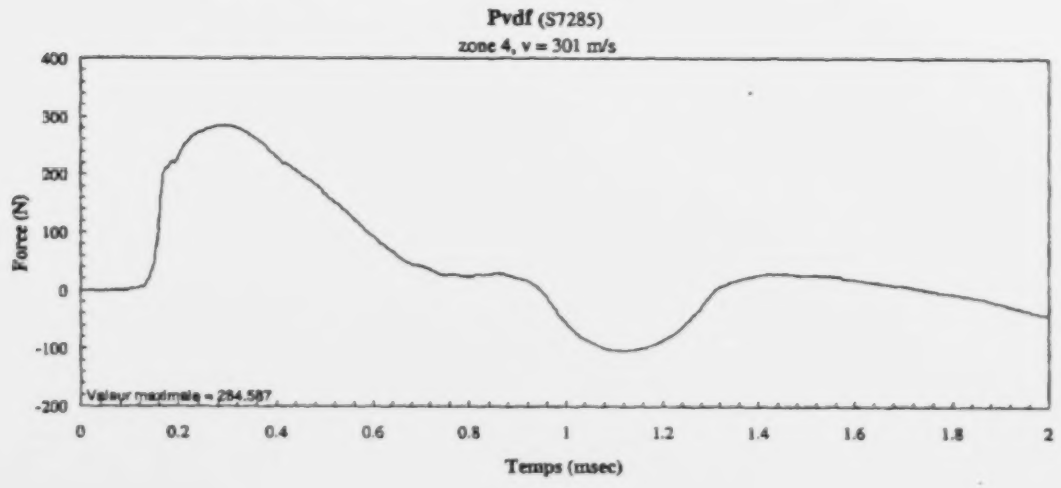


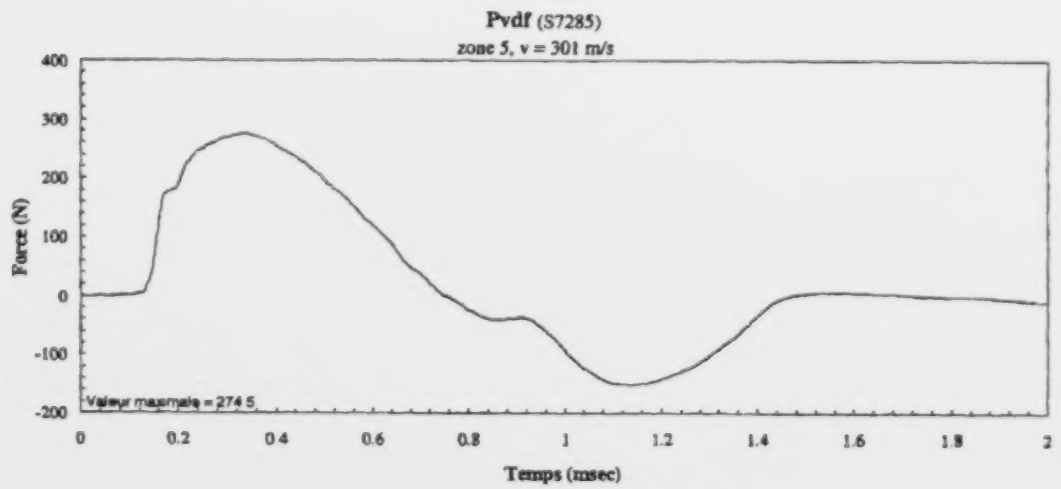



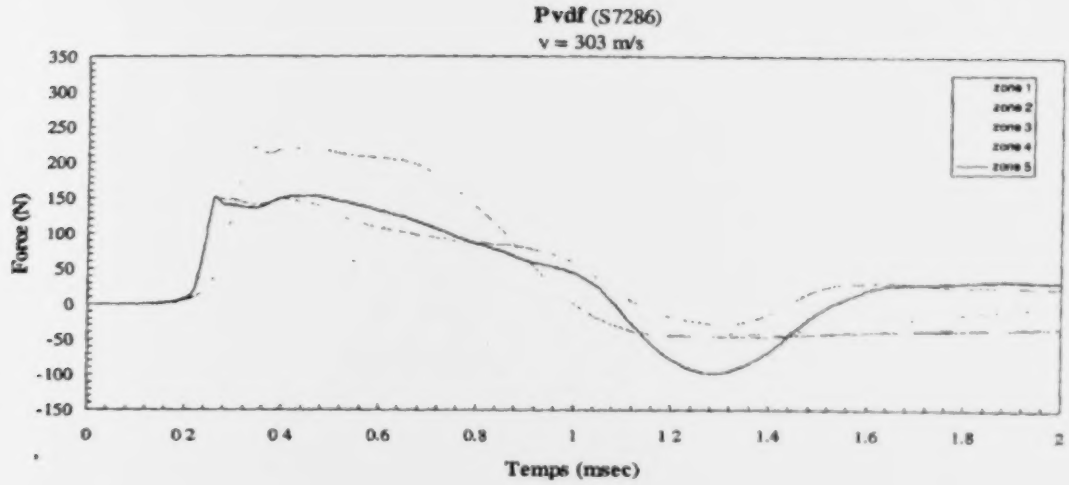

Force de contact casque S7285

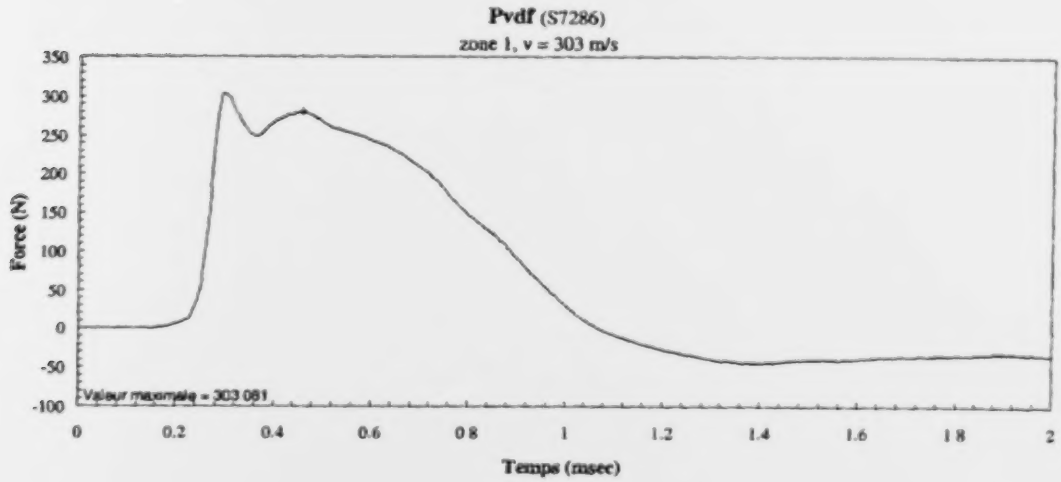


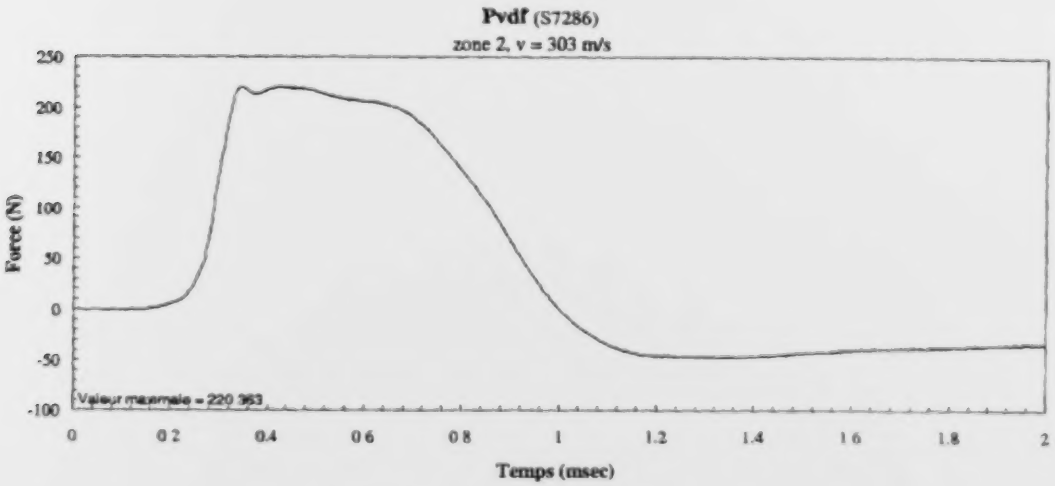



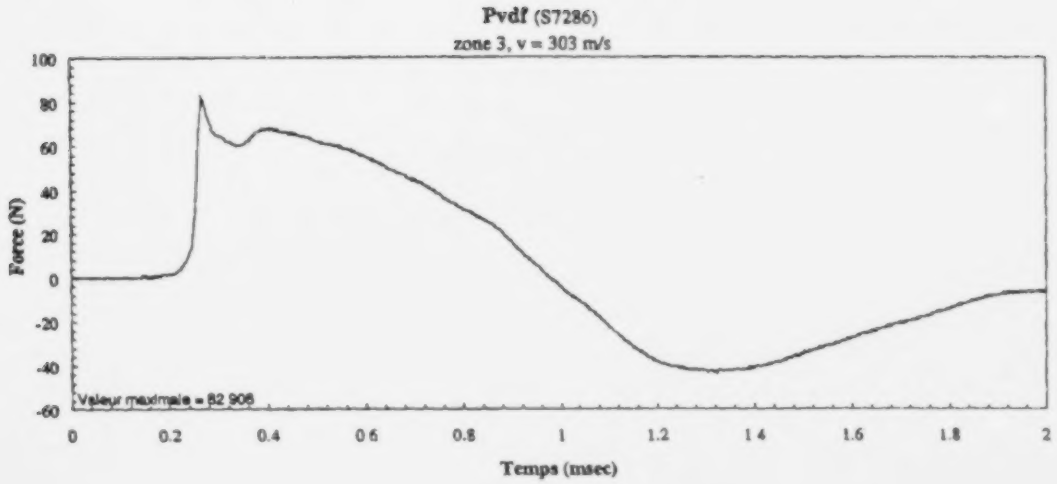

Force de contact casque S7285

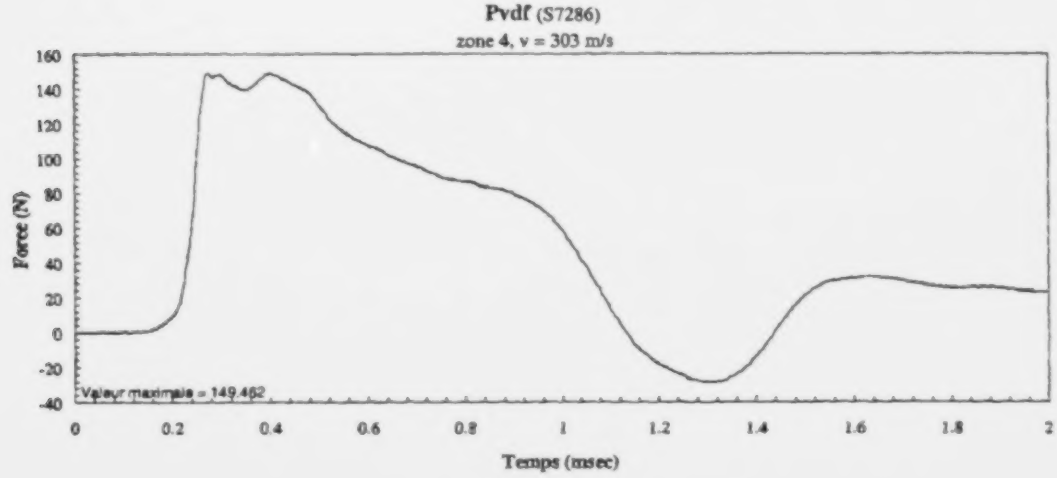


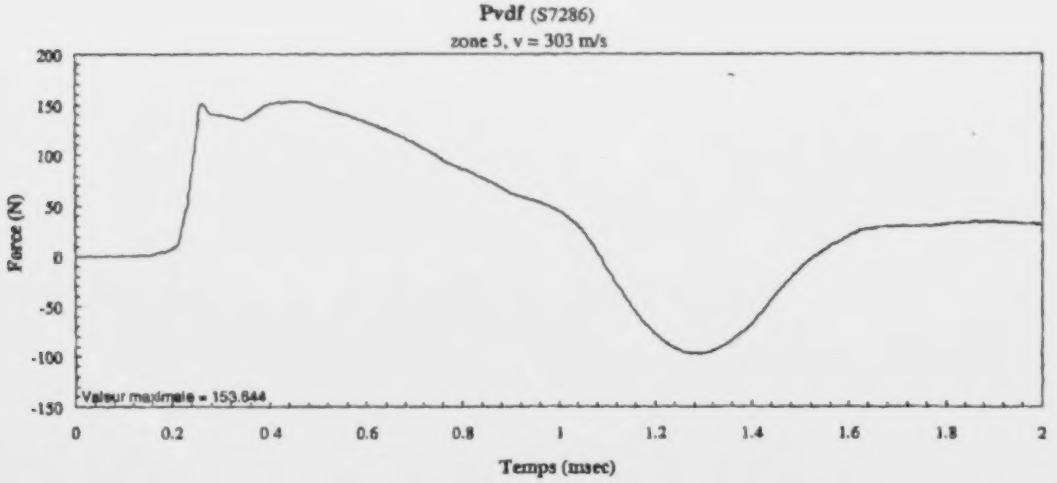



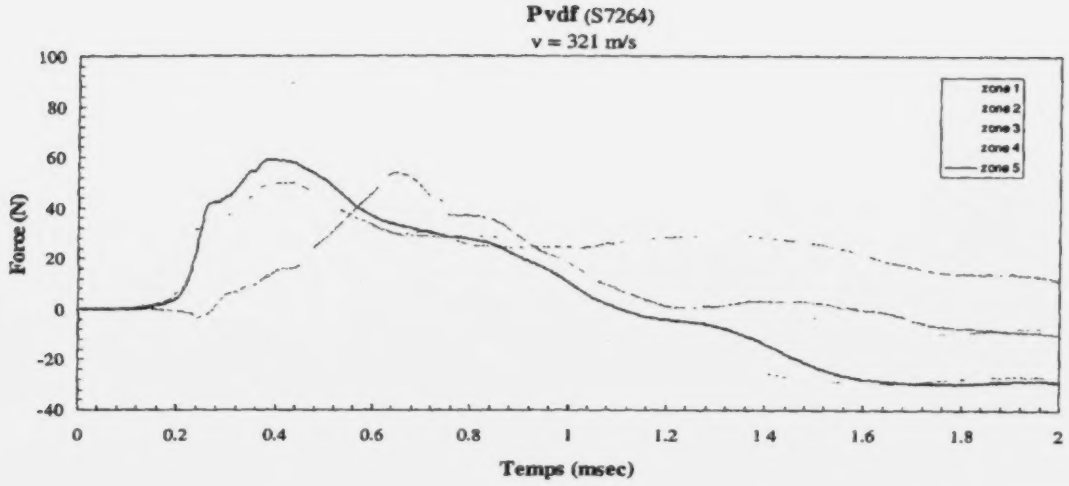

Force de contact casque S7286

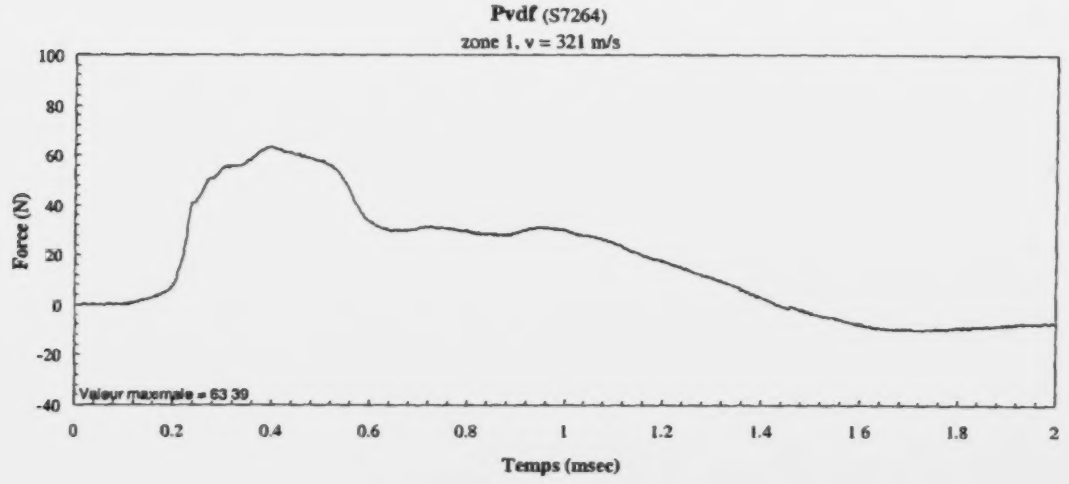


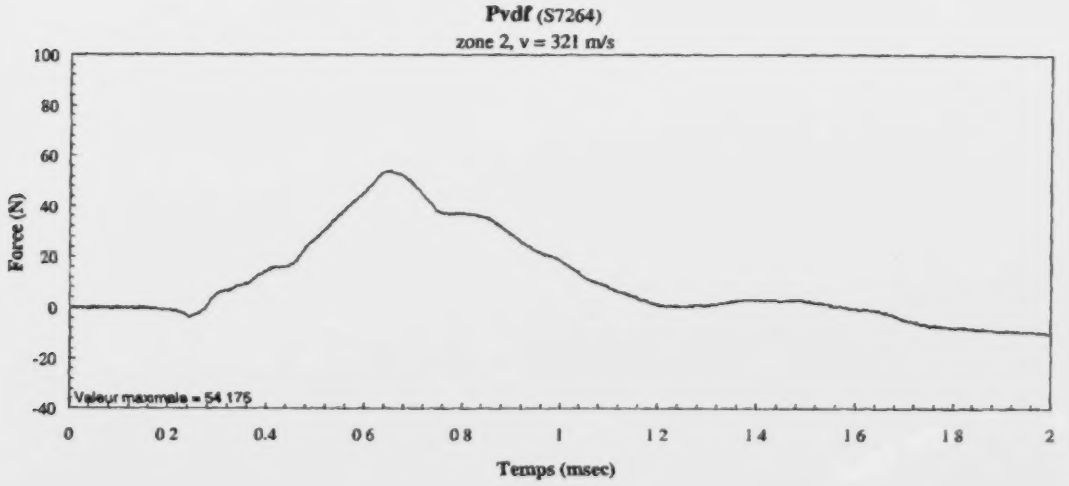



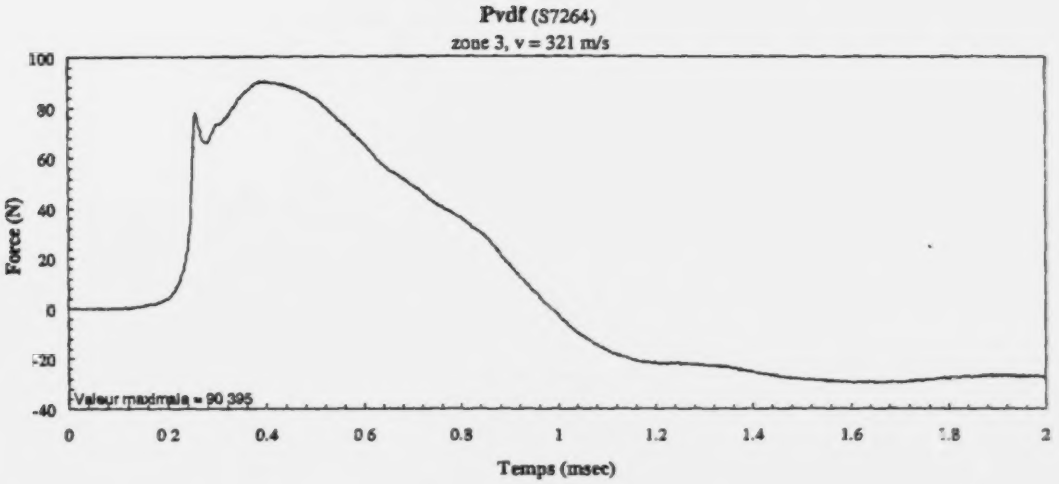

Force de contact casque S7286

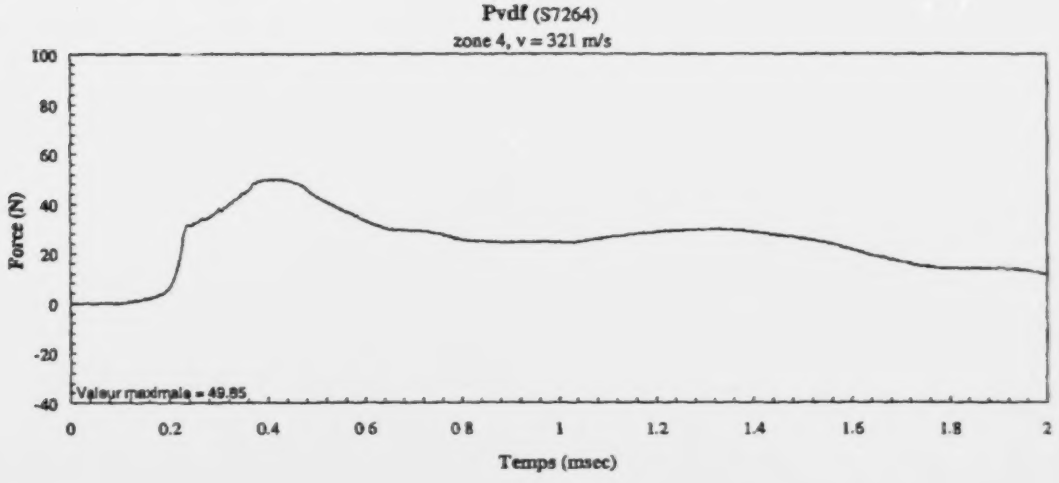


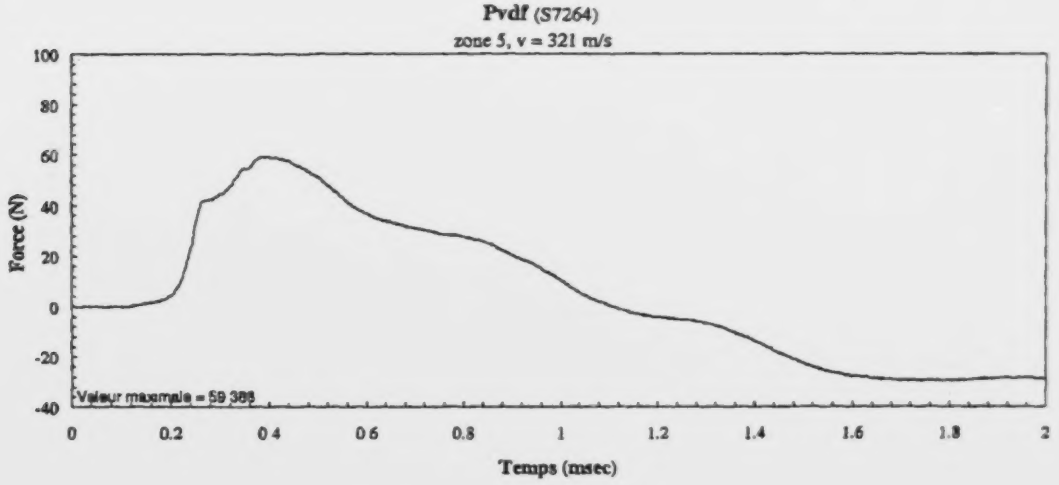



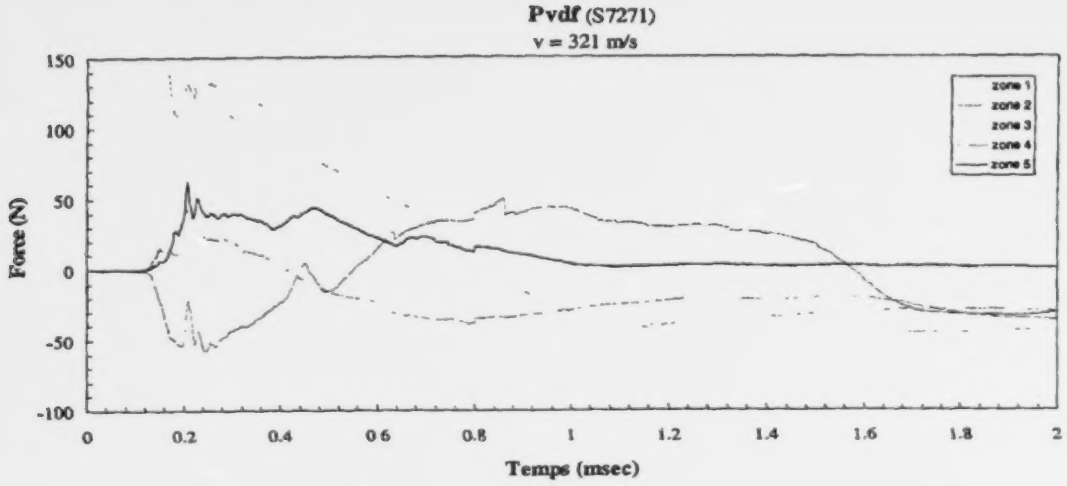

Force de contact casque S7264

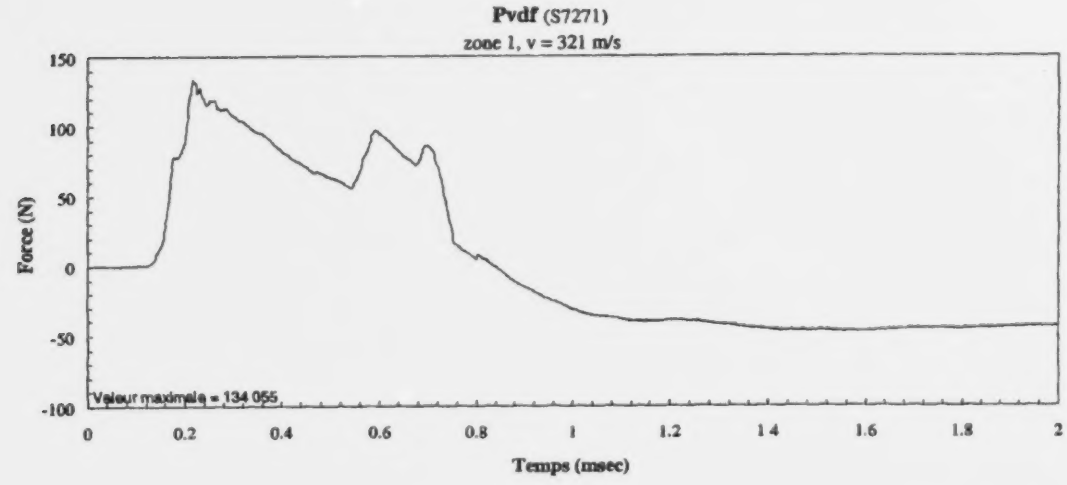


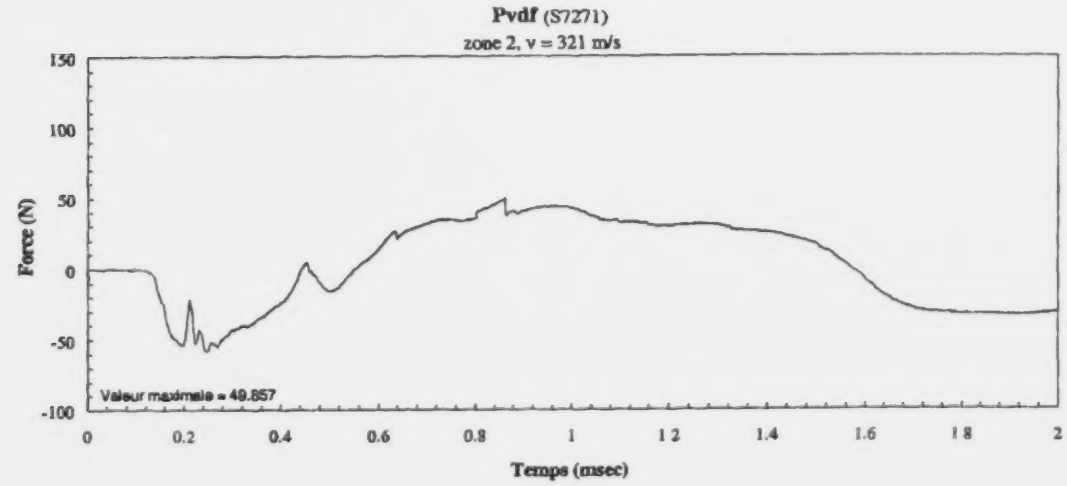



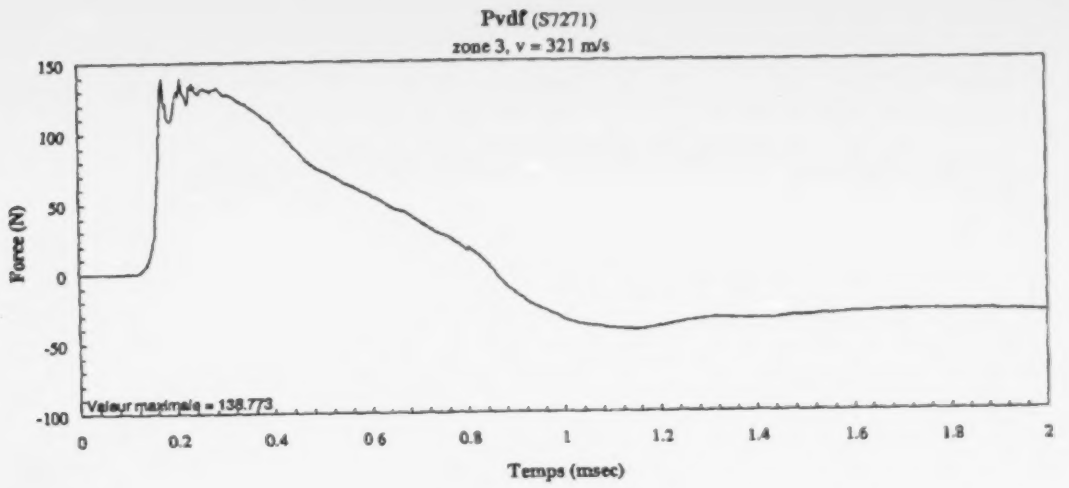

Force de contact casque S7264

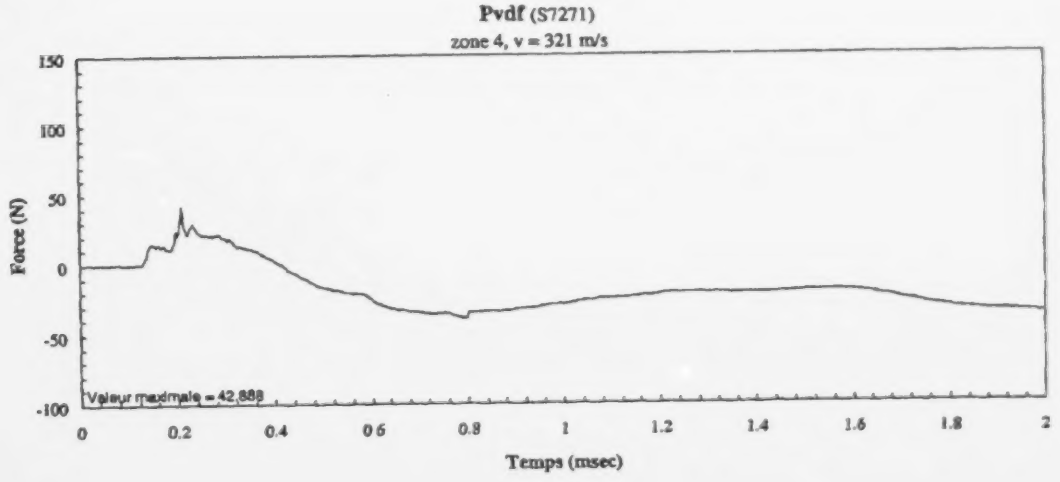


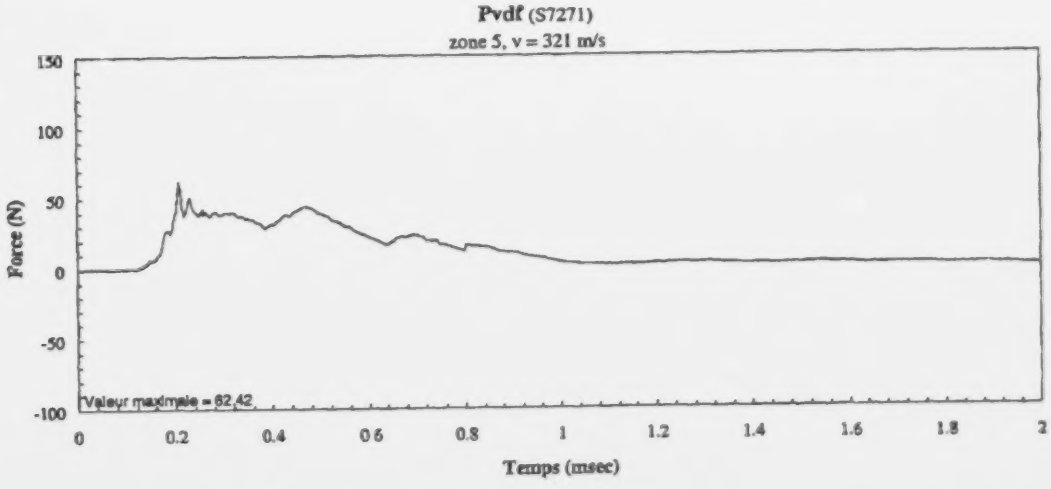



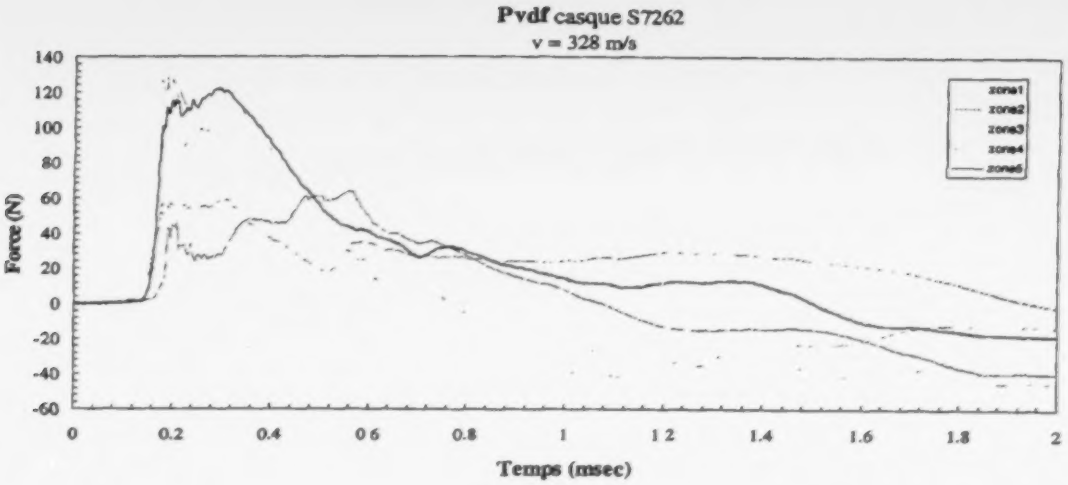

Force de contact casque S7271

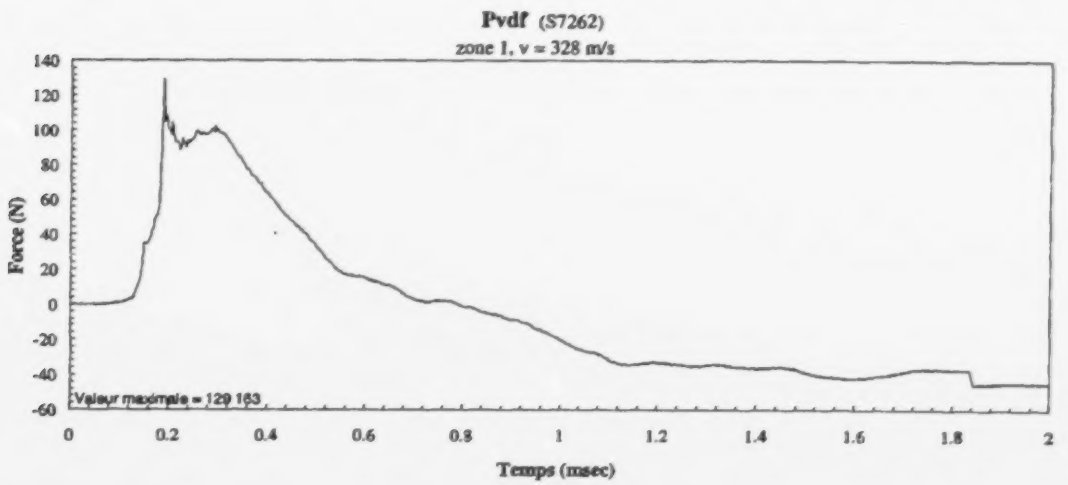


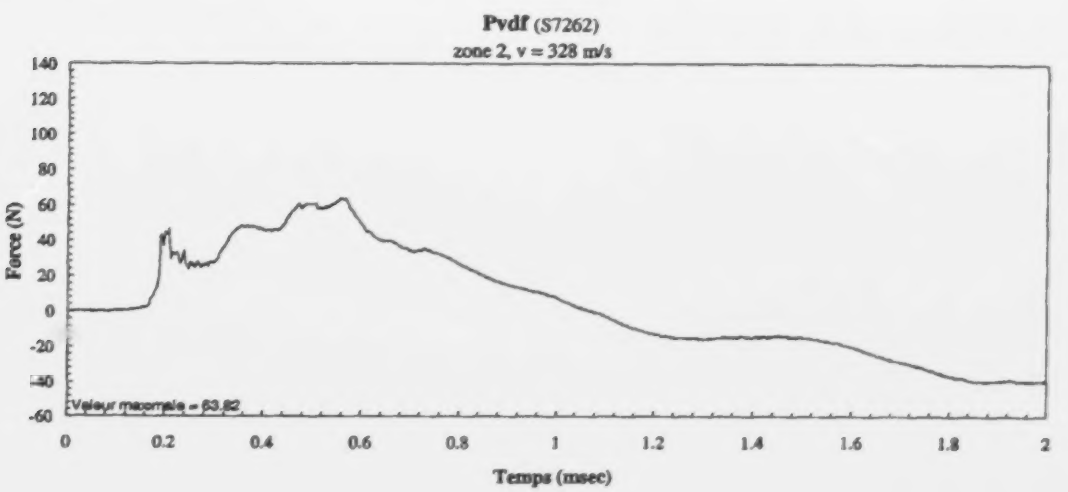



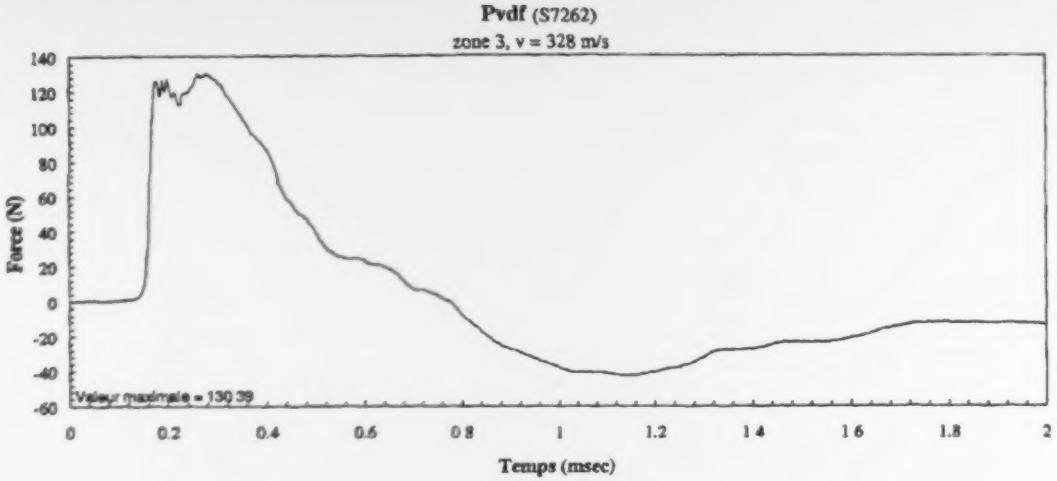

Force de contact casque S7271

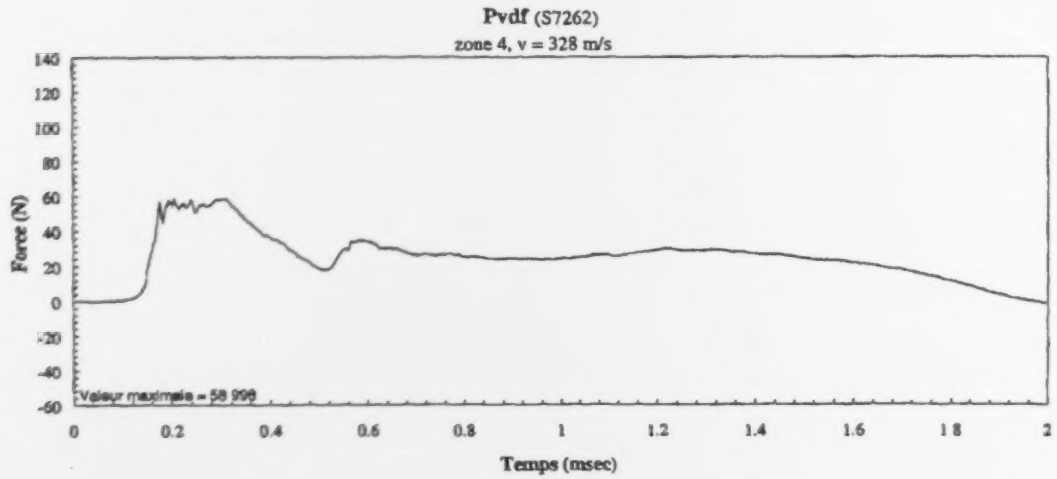


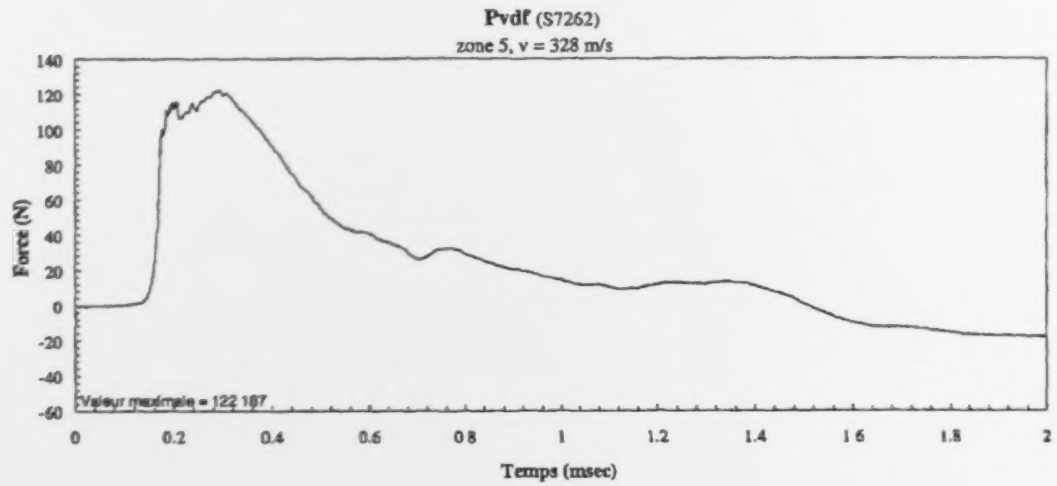



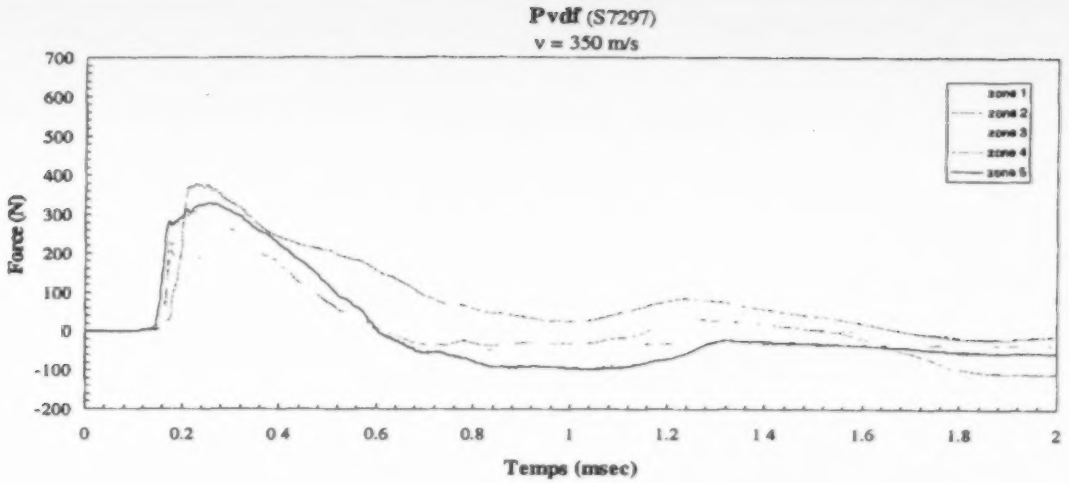

Force de contact casque S7262

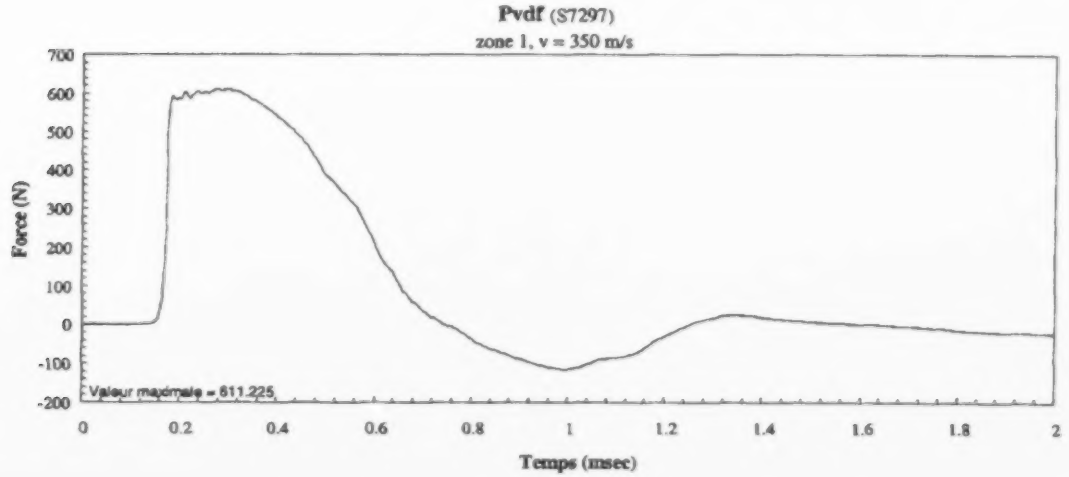


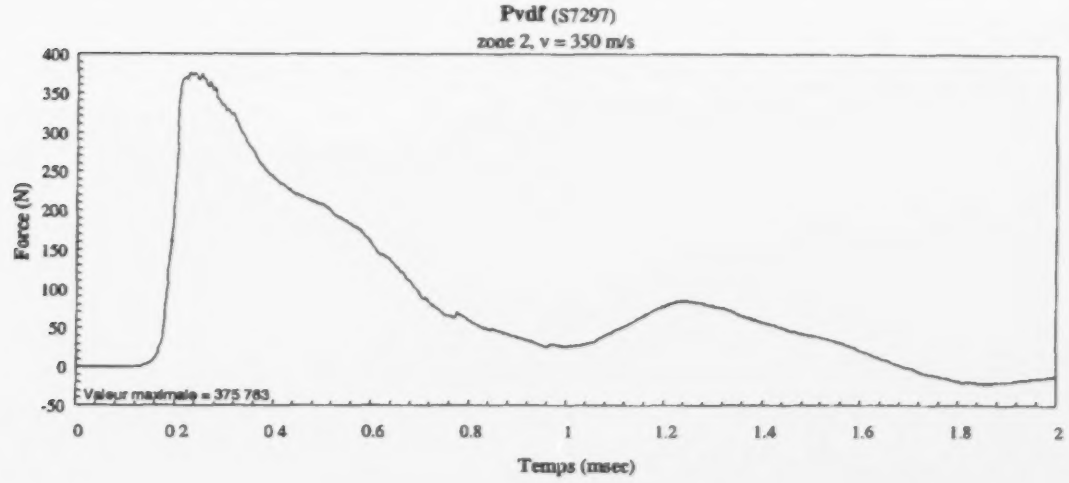



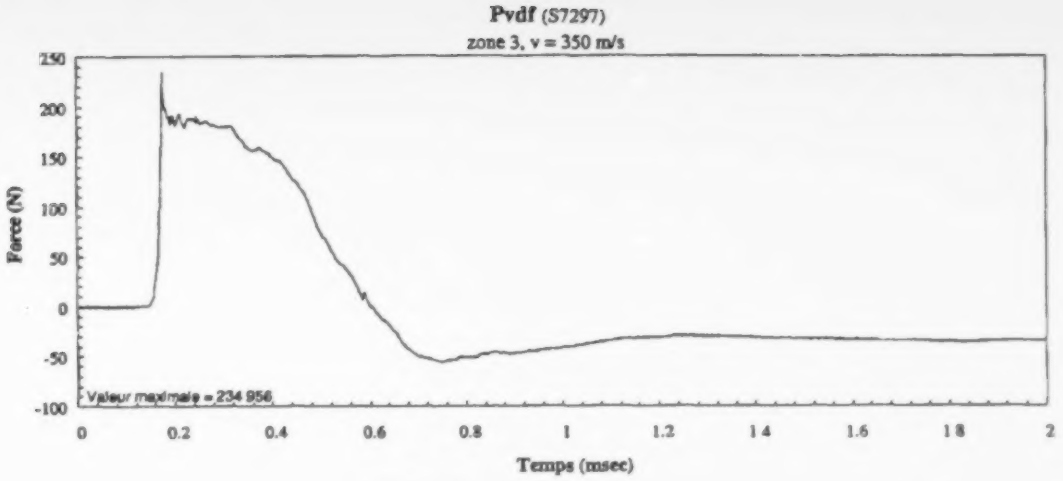

Force de contact casque S7262

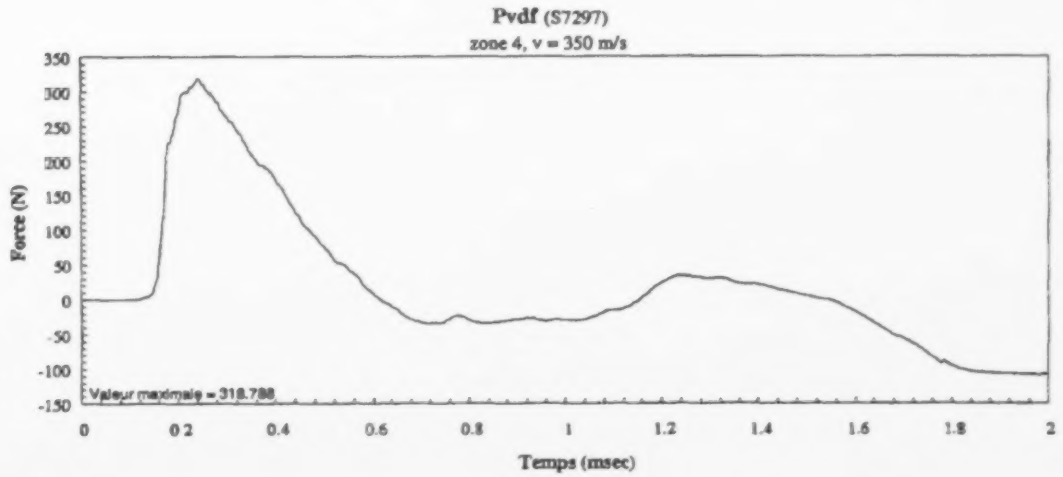


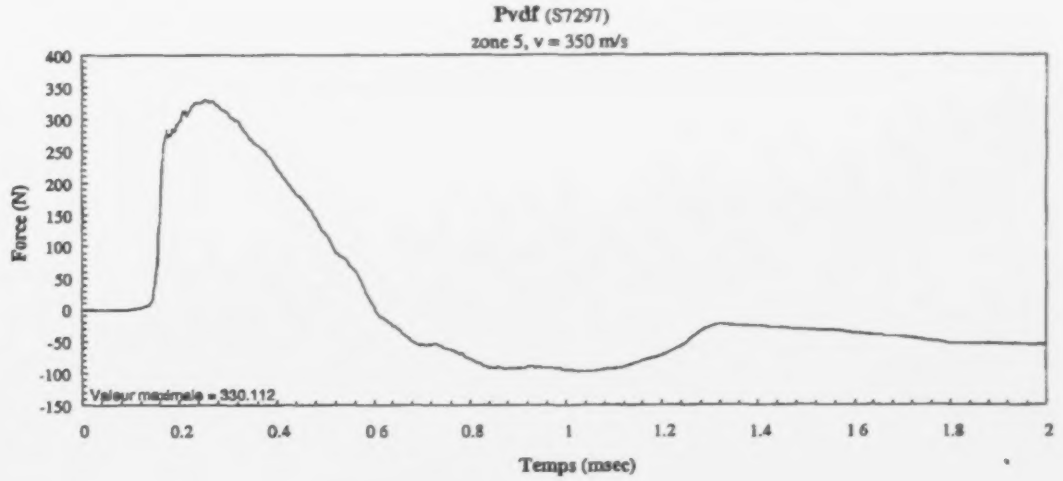



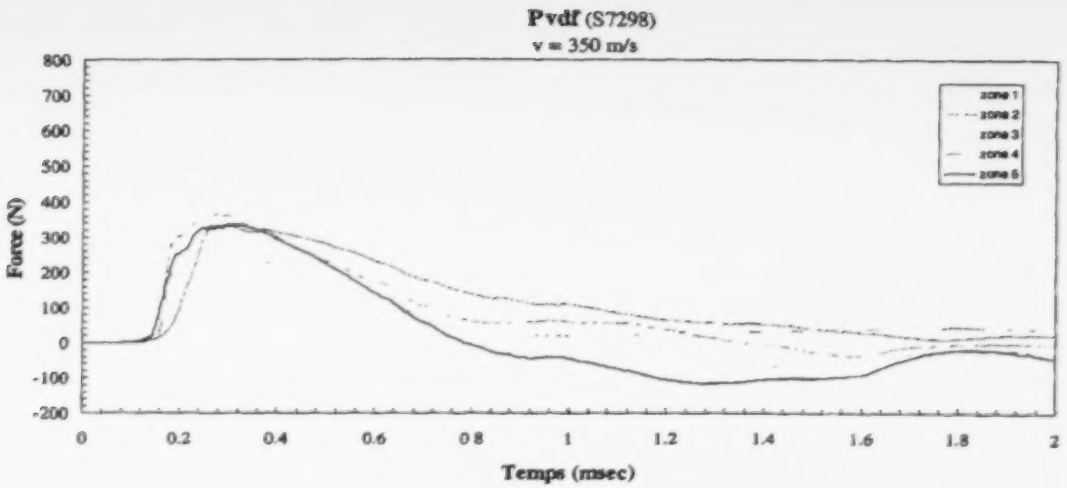

Force de contact casque S7297

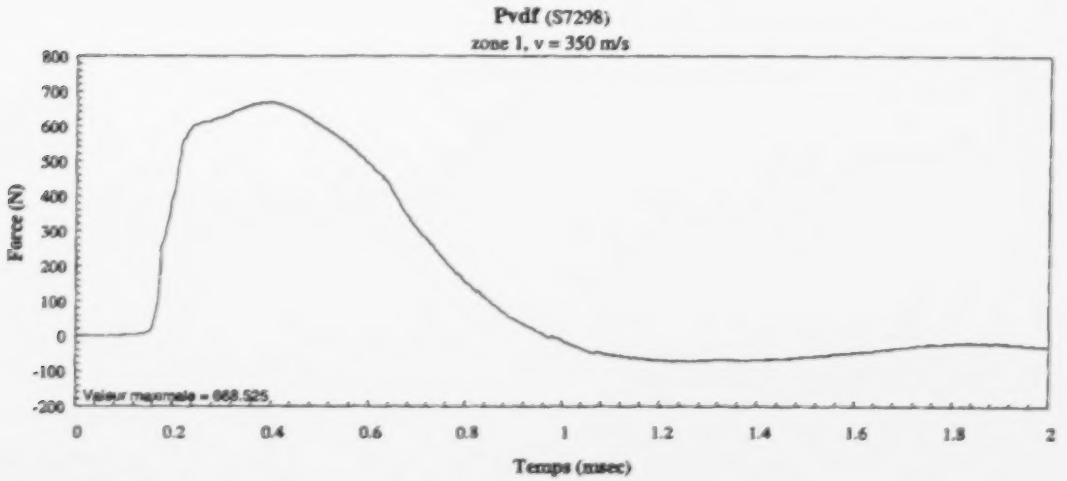


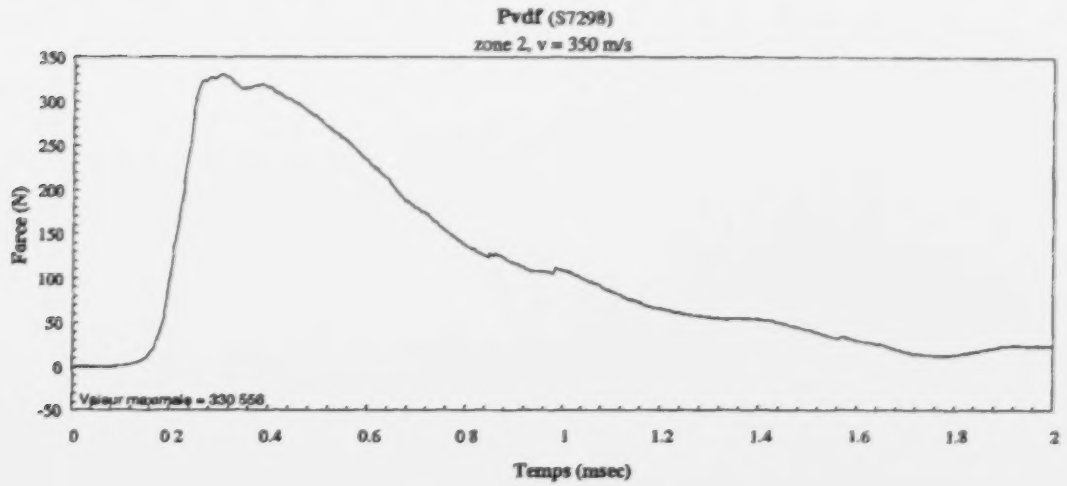



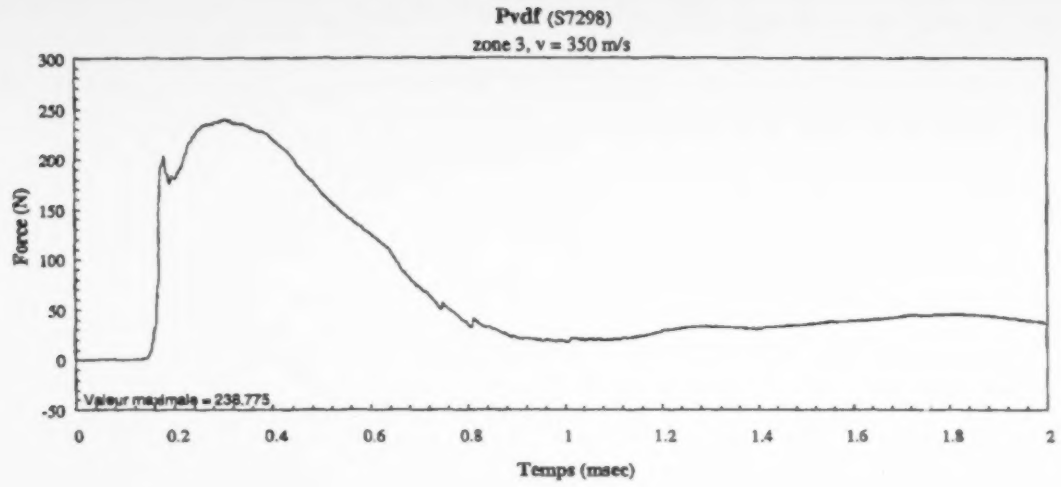

Force de contact casque S7297

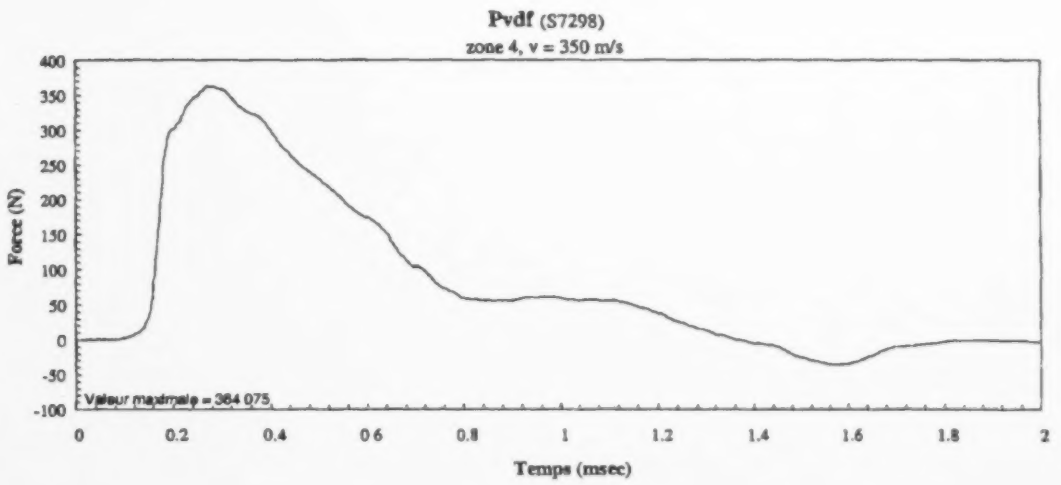


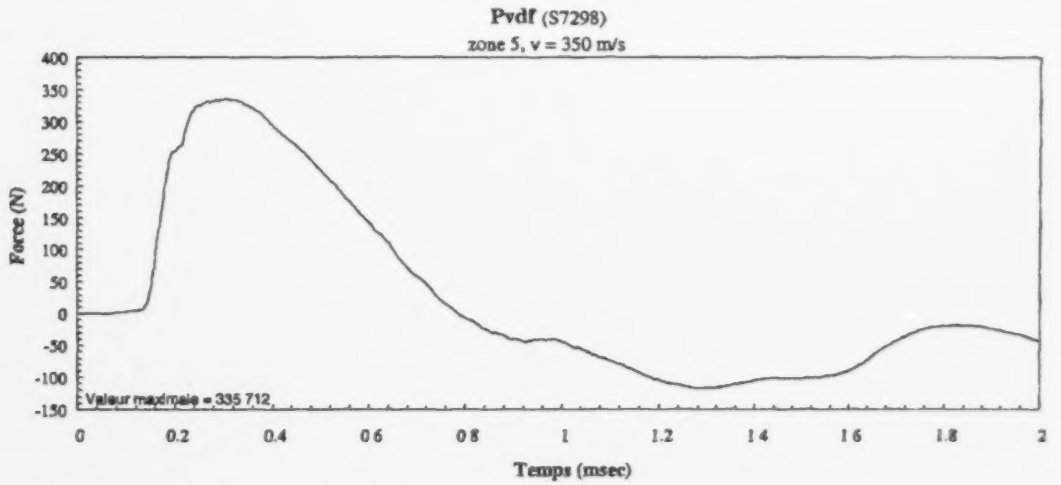



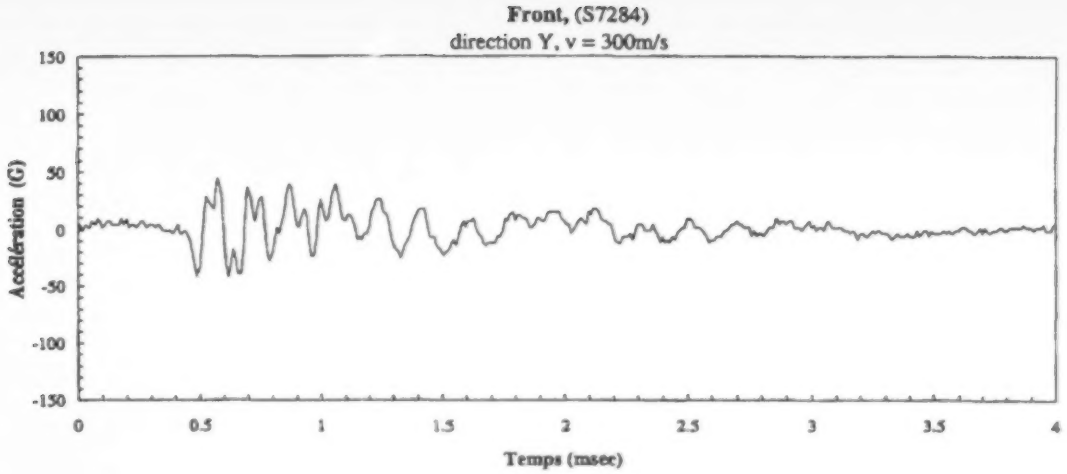

Force de contact casque S7298

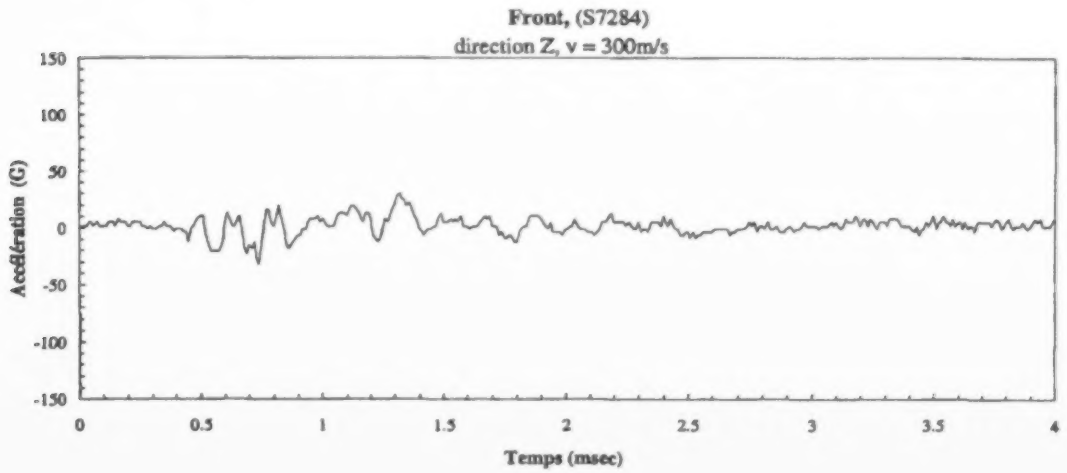


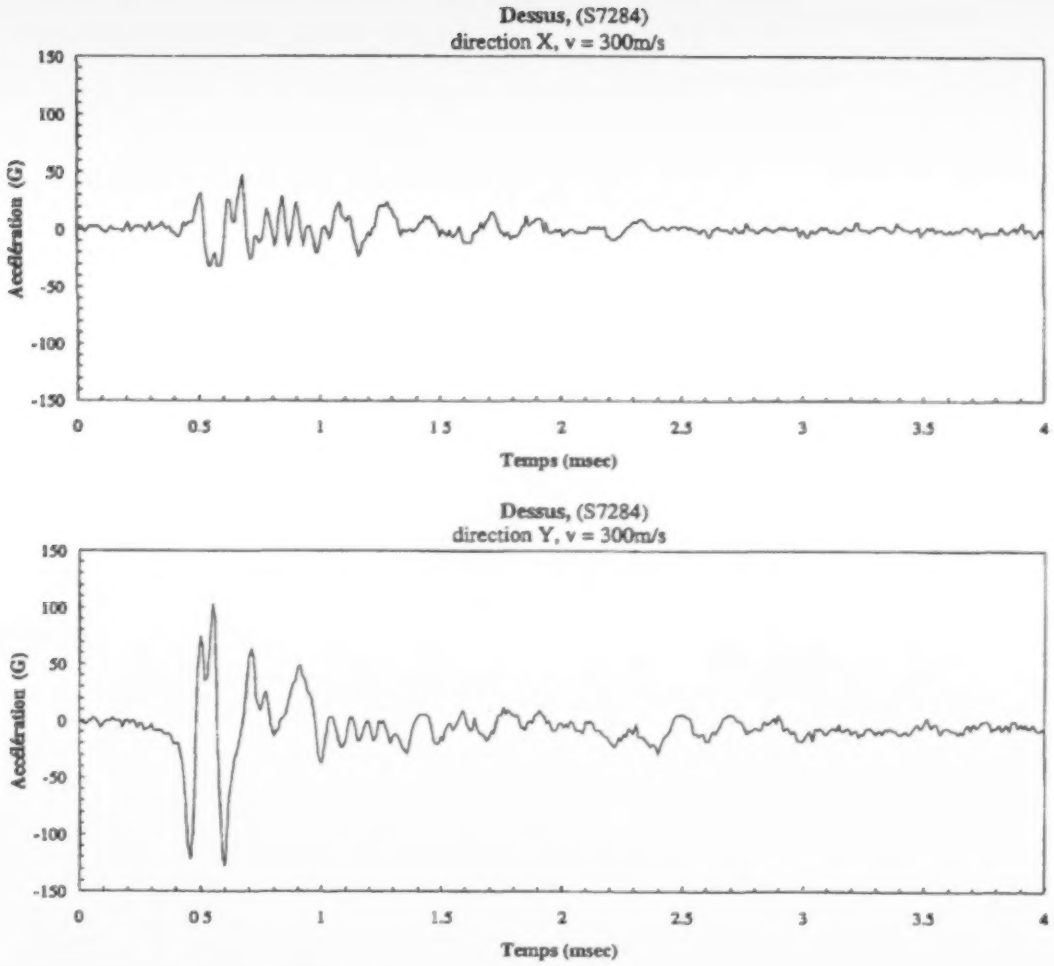




Force de contact casque S7298

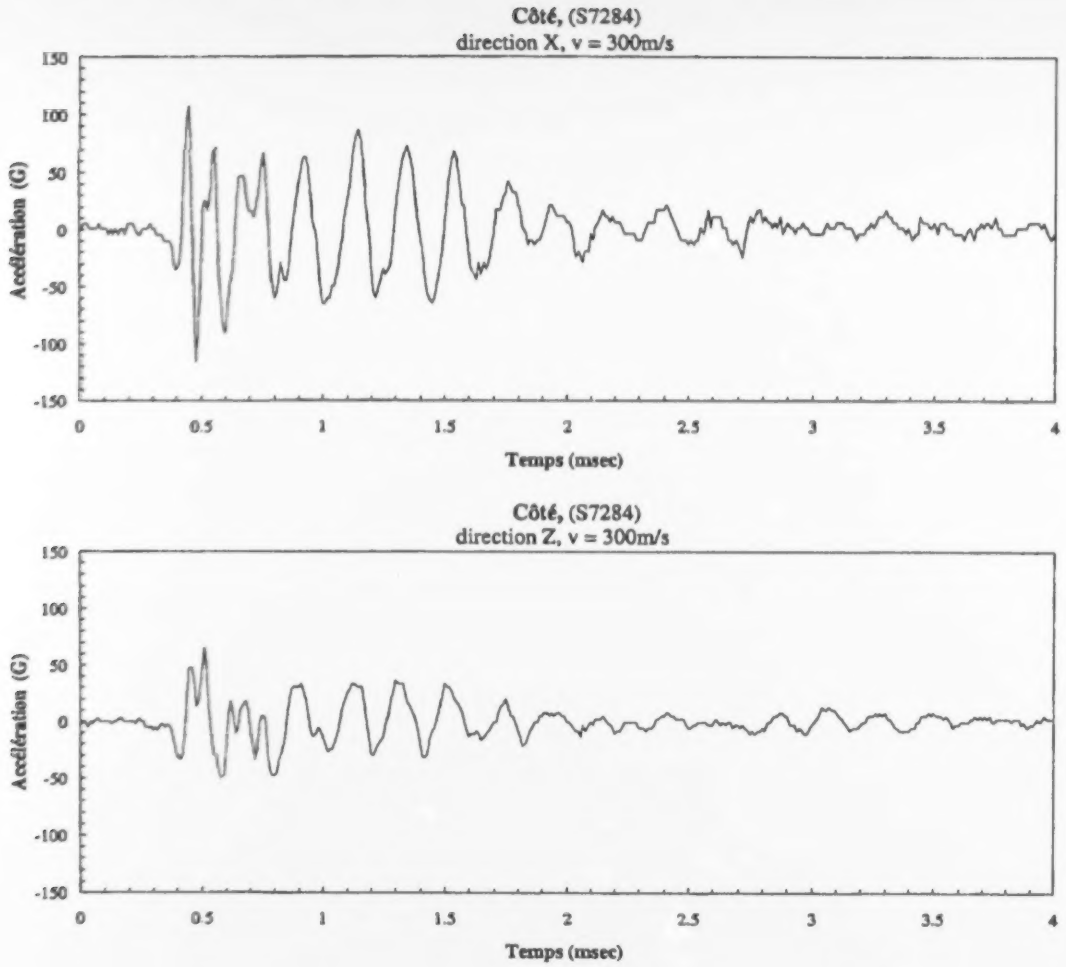


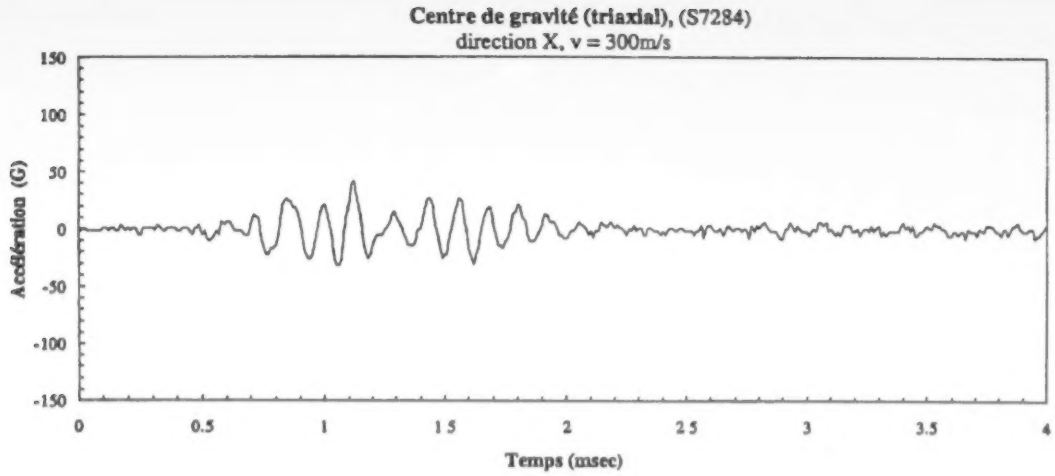

Accélération casque S7284

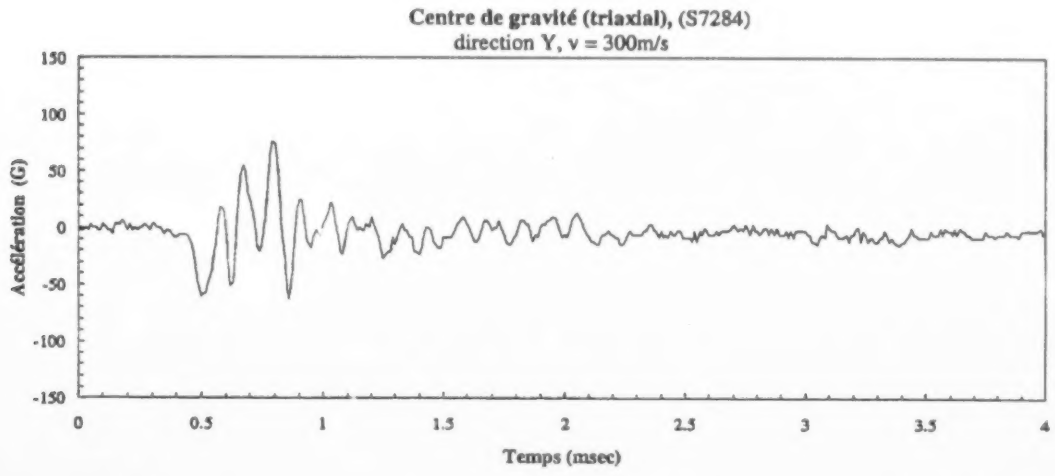


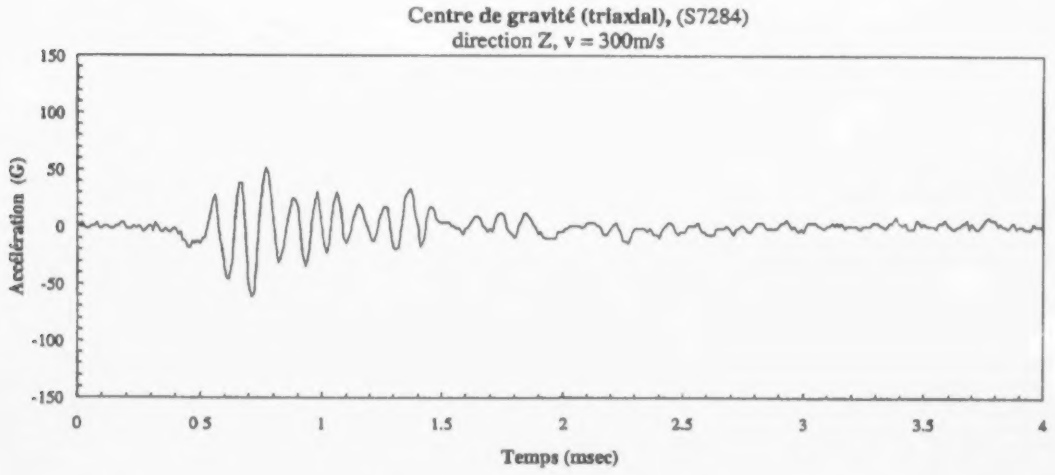

Accélération casque S7284



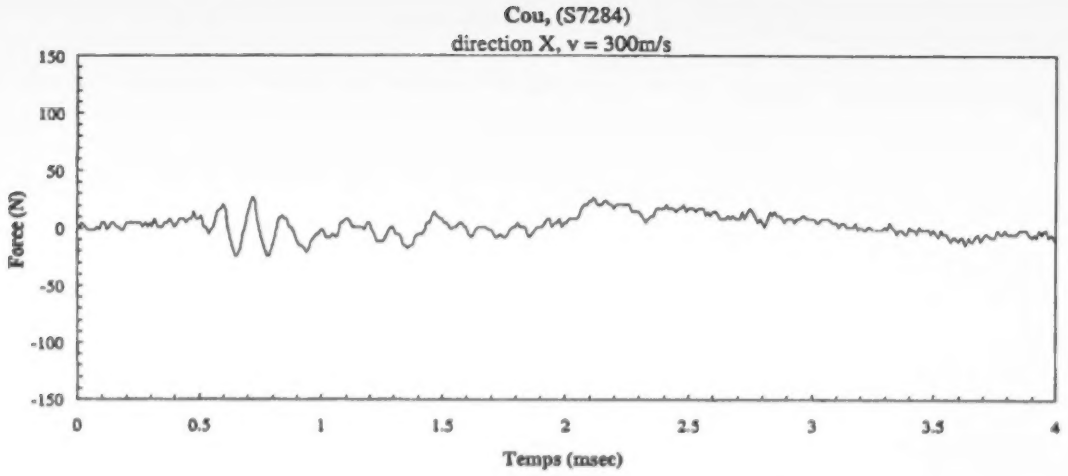

Accélération casque S7284

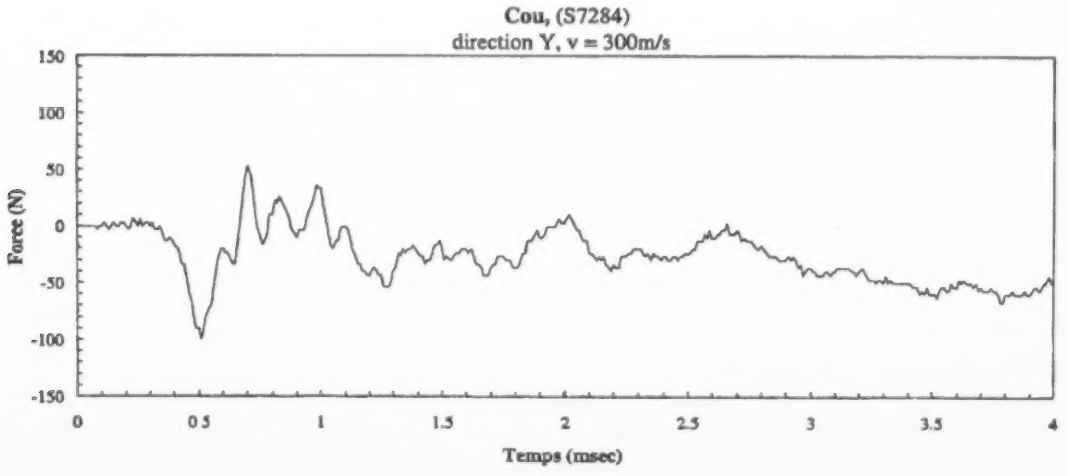


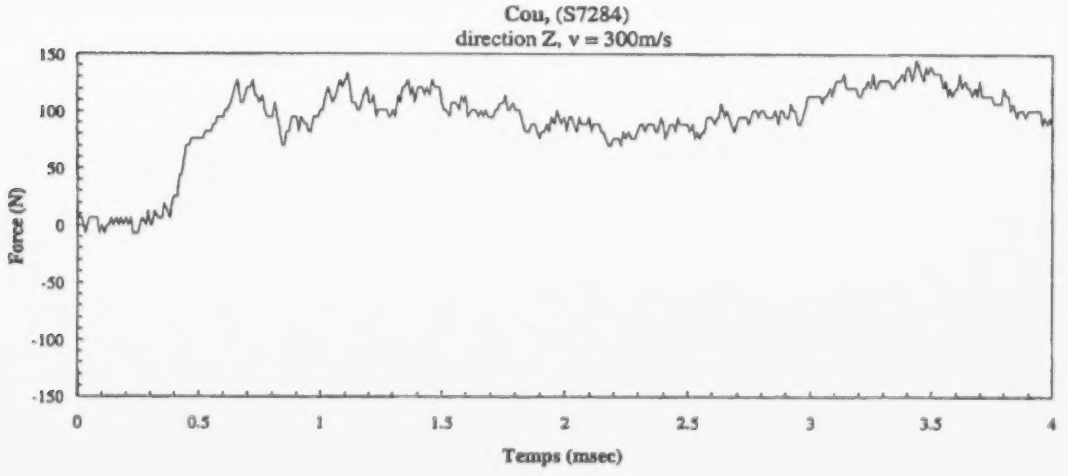



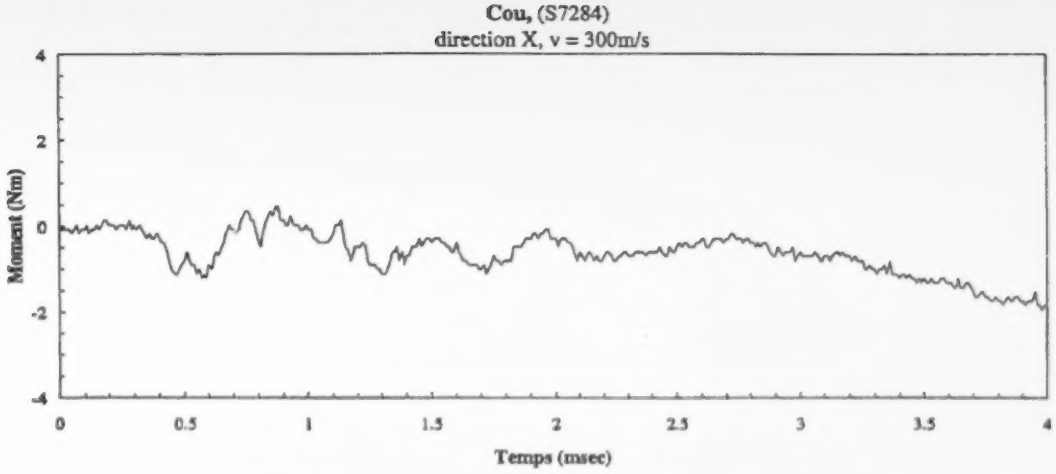

Accélération casque S7284

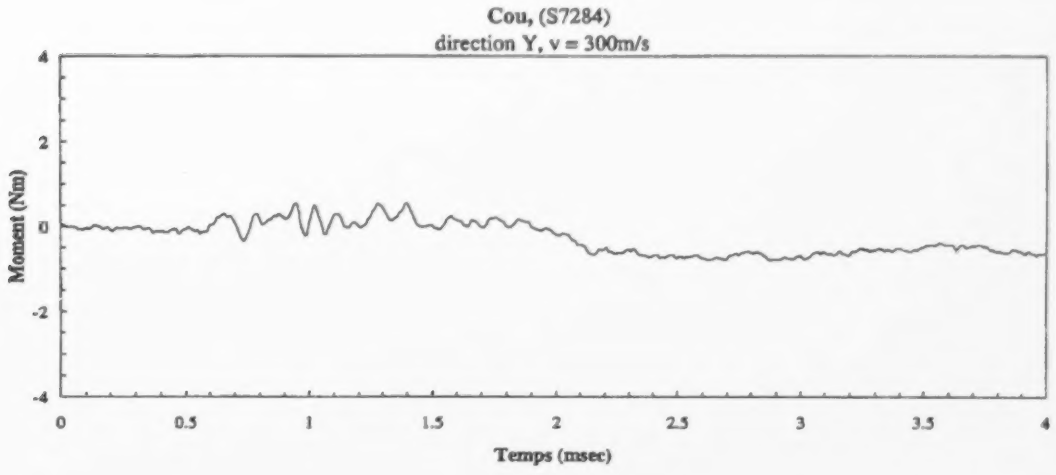


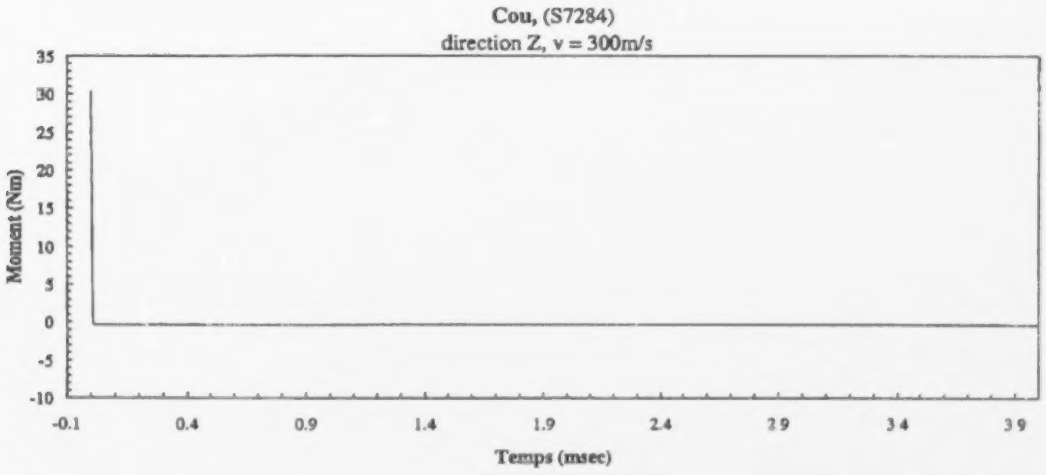



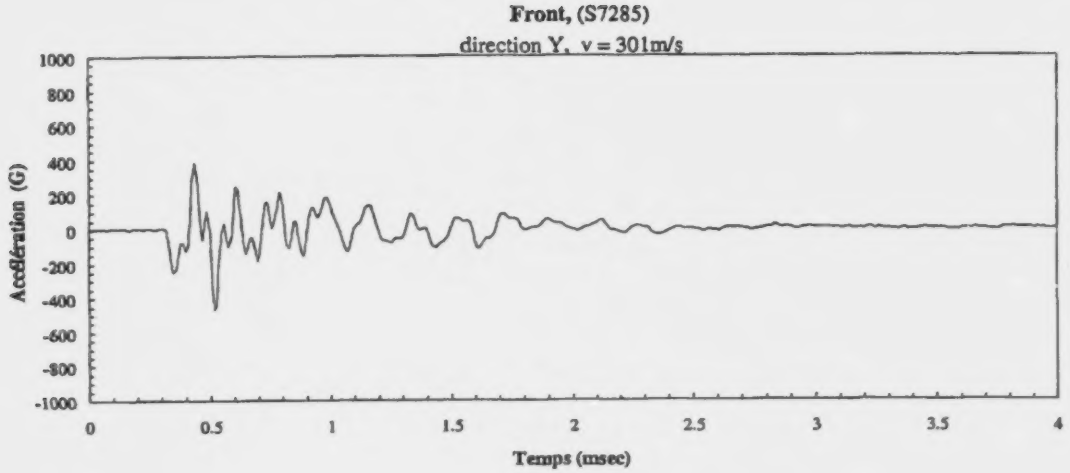

Accélération casque S7284

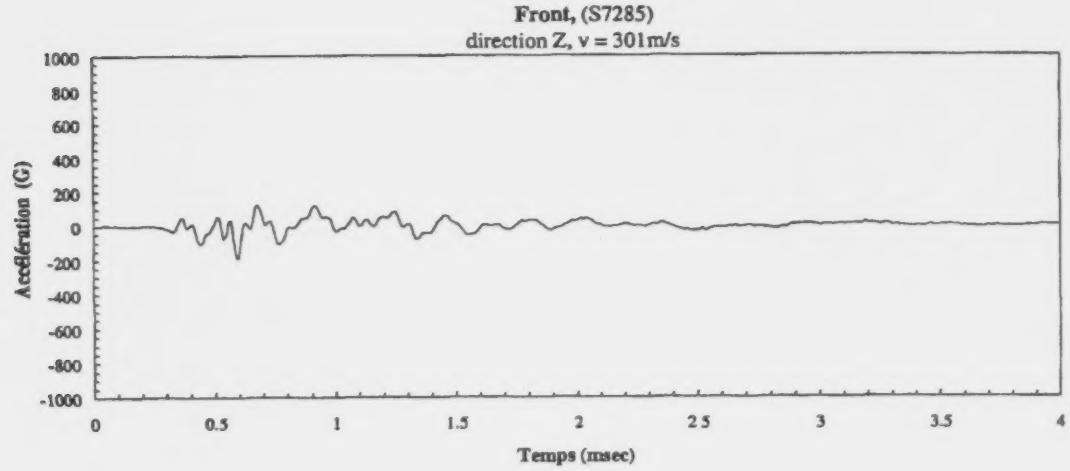


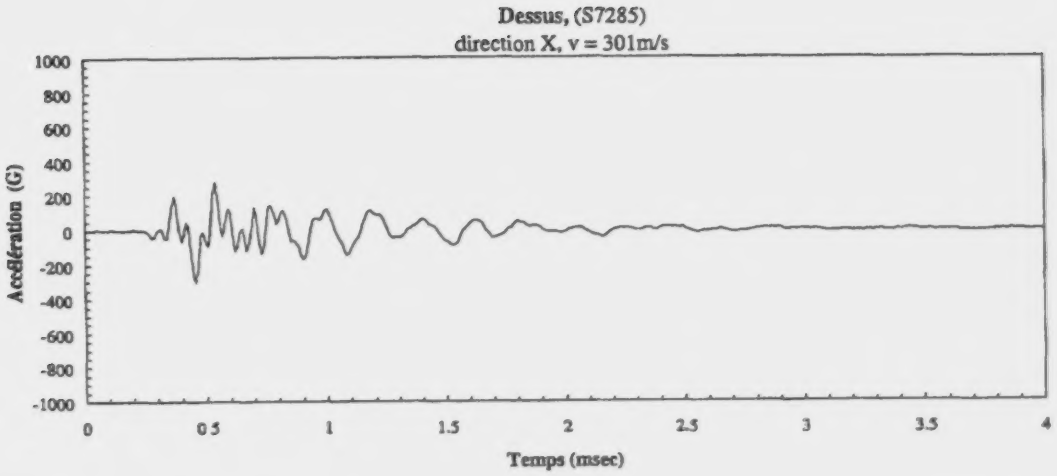



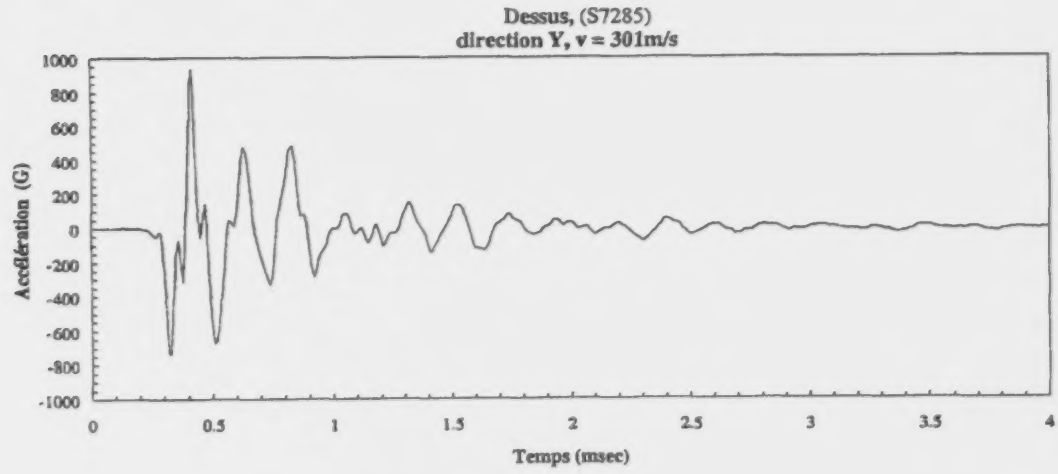

Accélération casque S7284



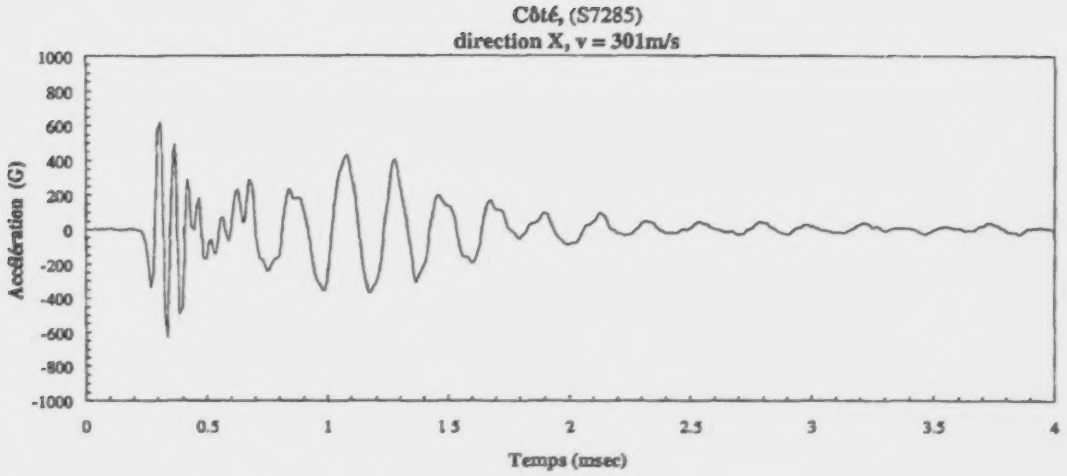



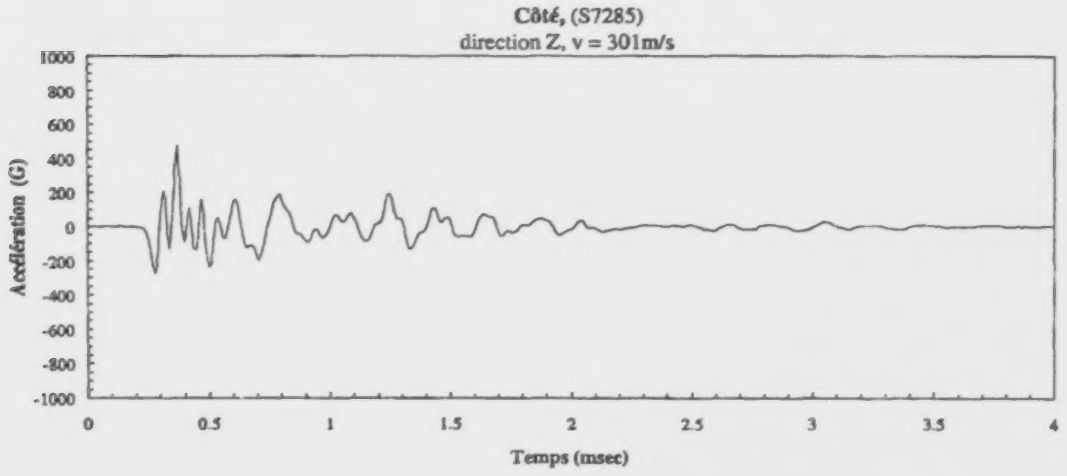

Accélération casque S7285



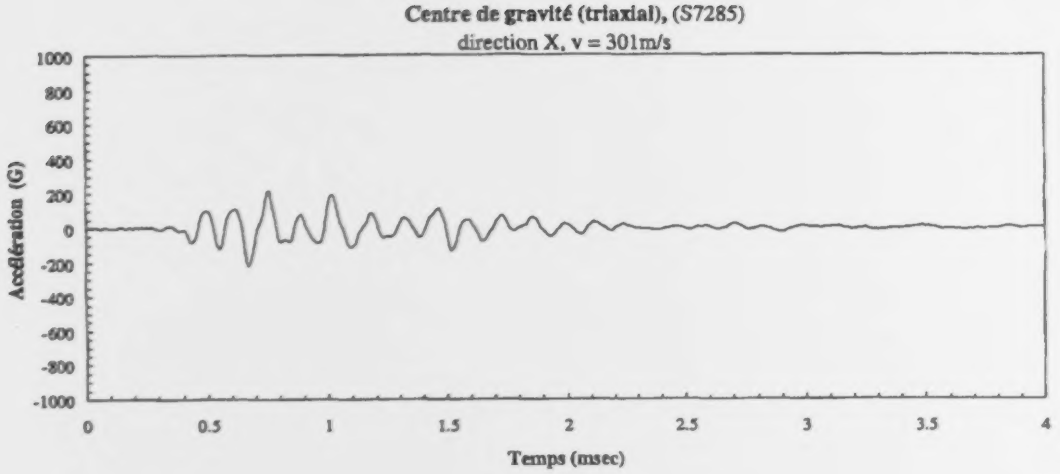



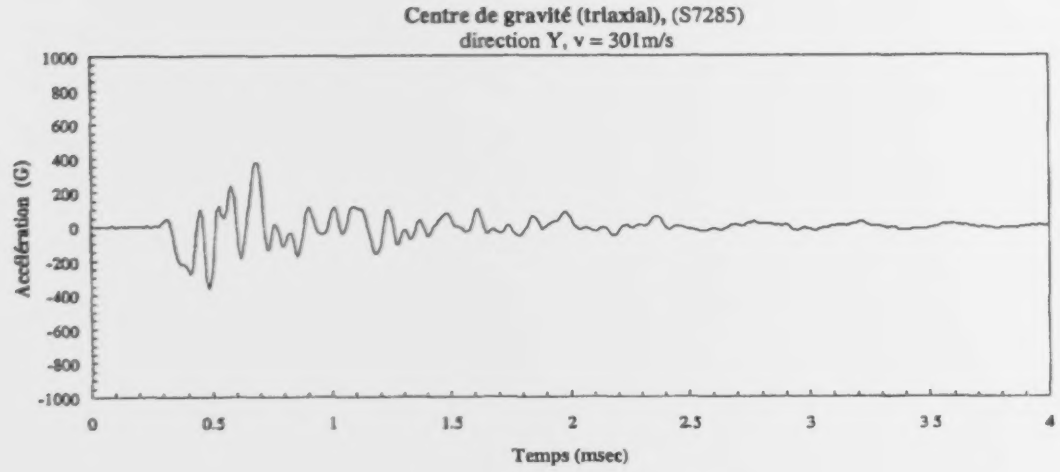

Accélération casque S7285

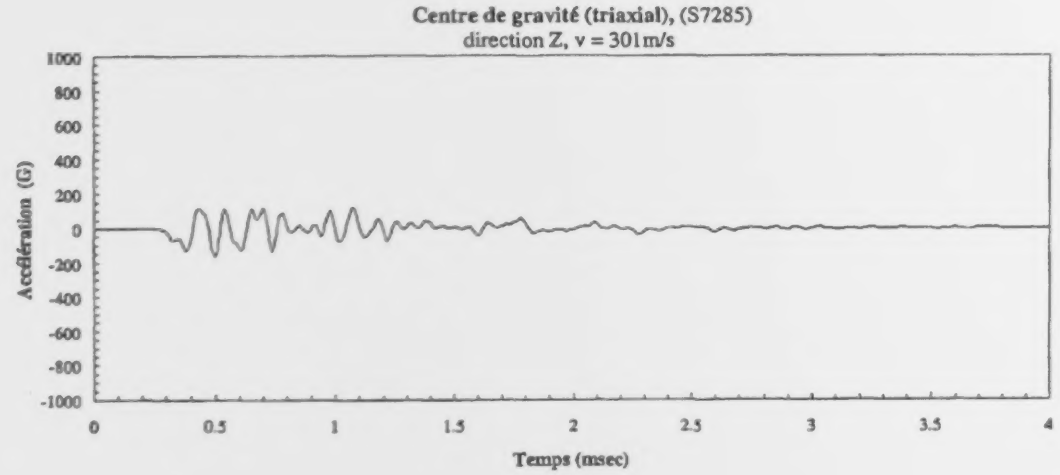


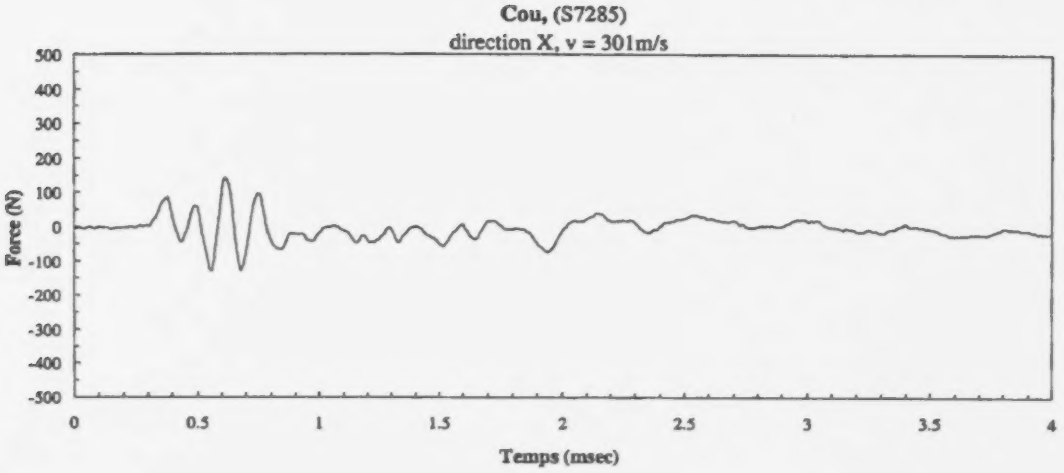

Accélération casque S7285

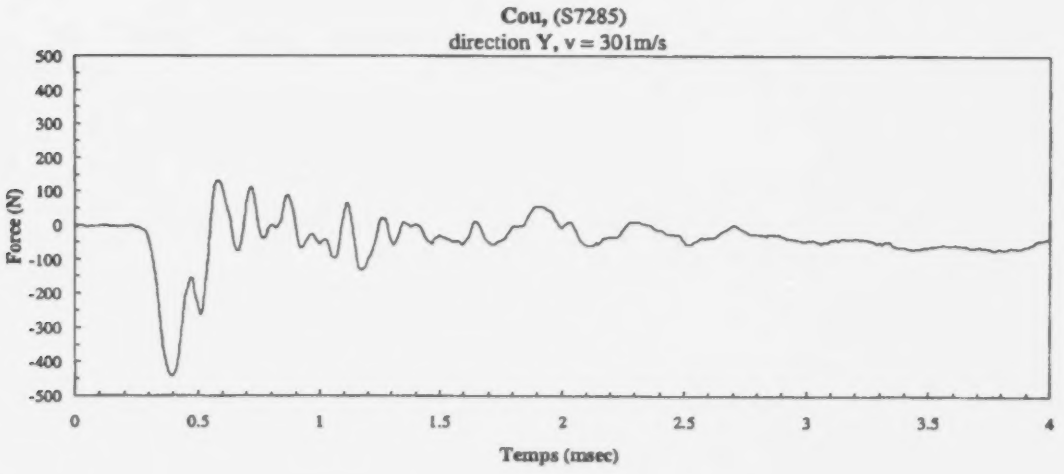


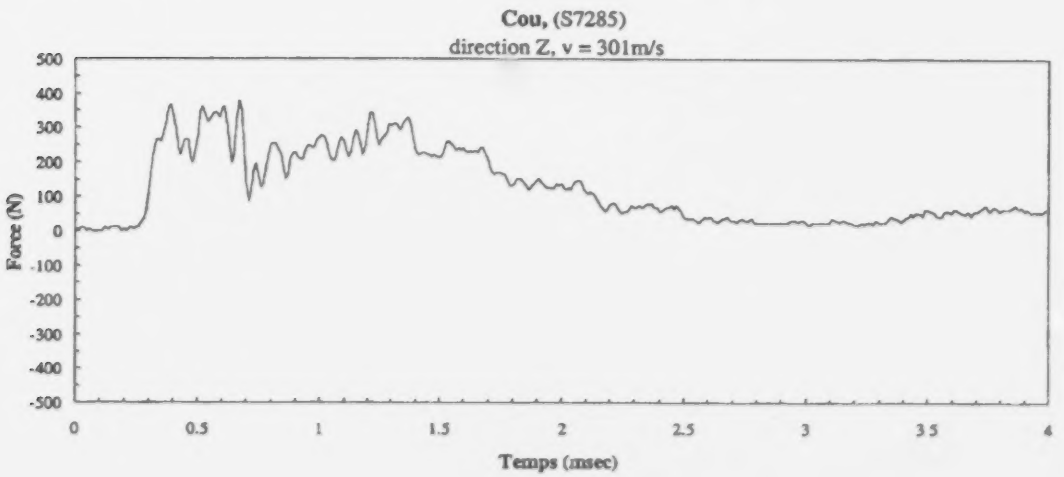



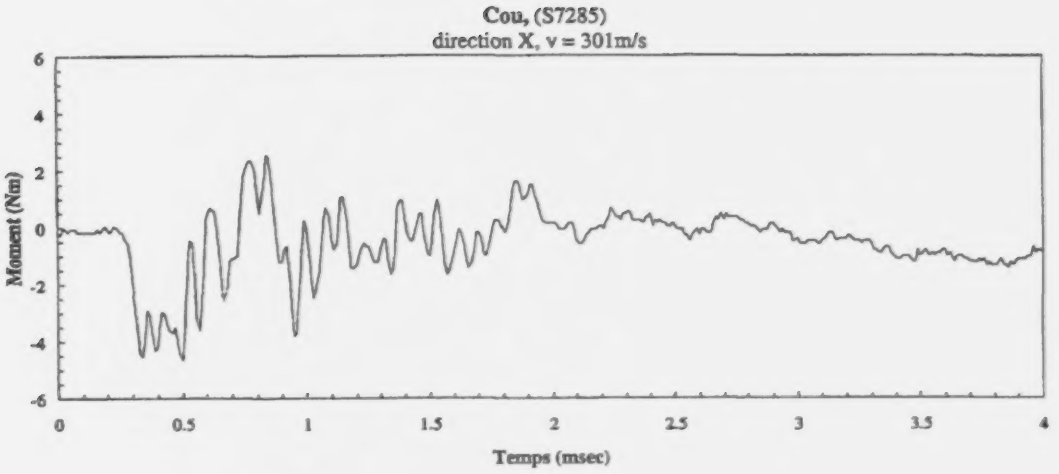

Accélération casque S7285

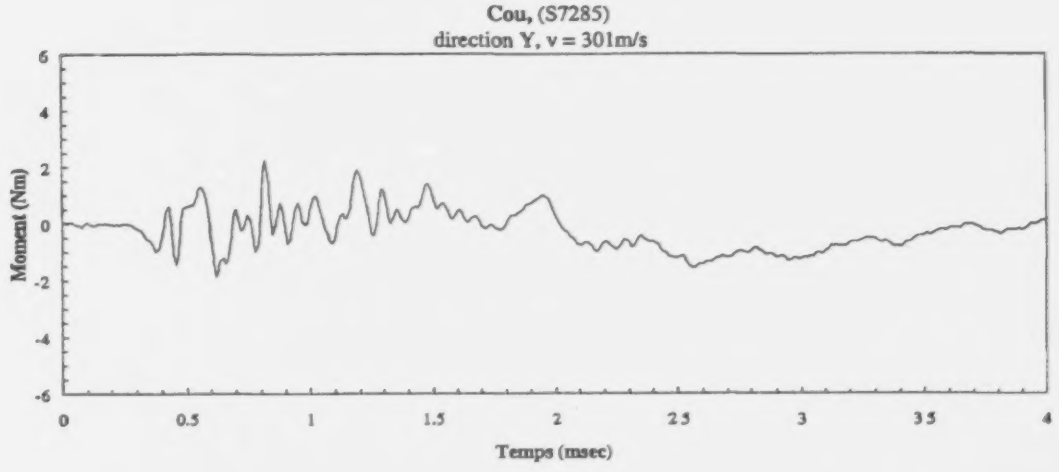


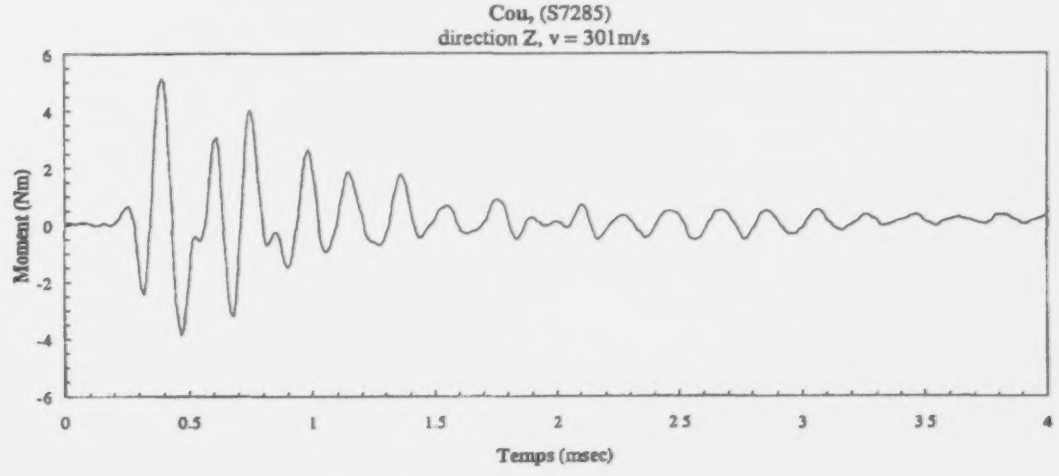



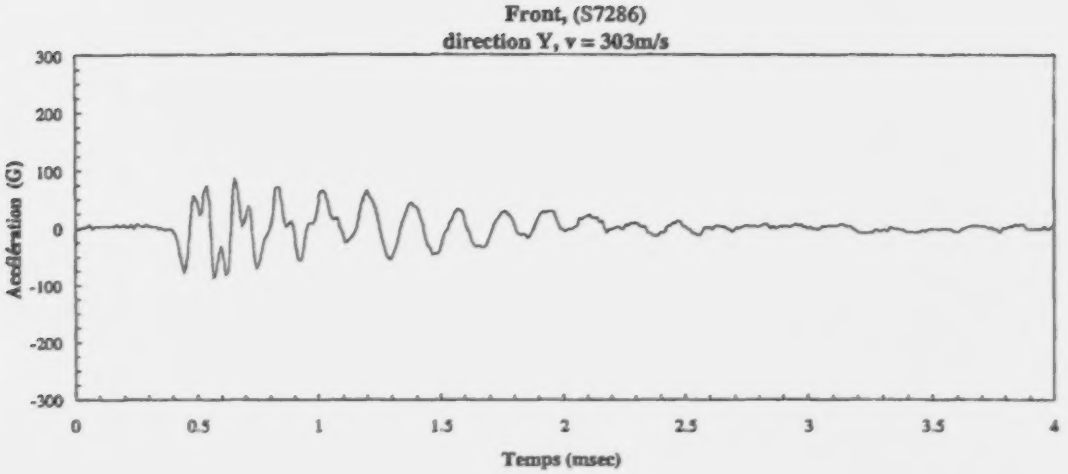

Accélération casque S7285

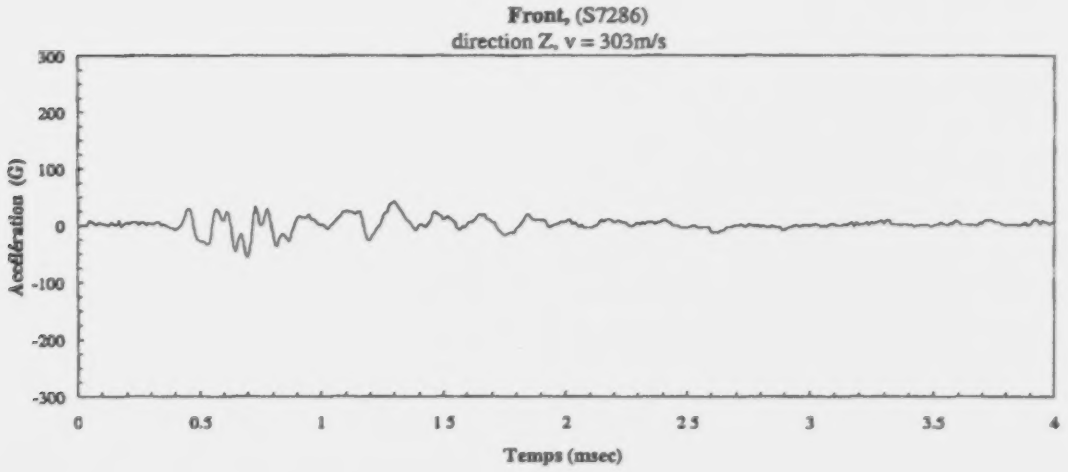


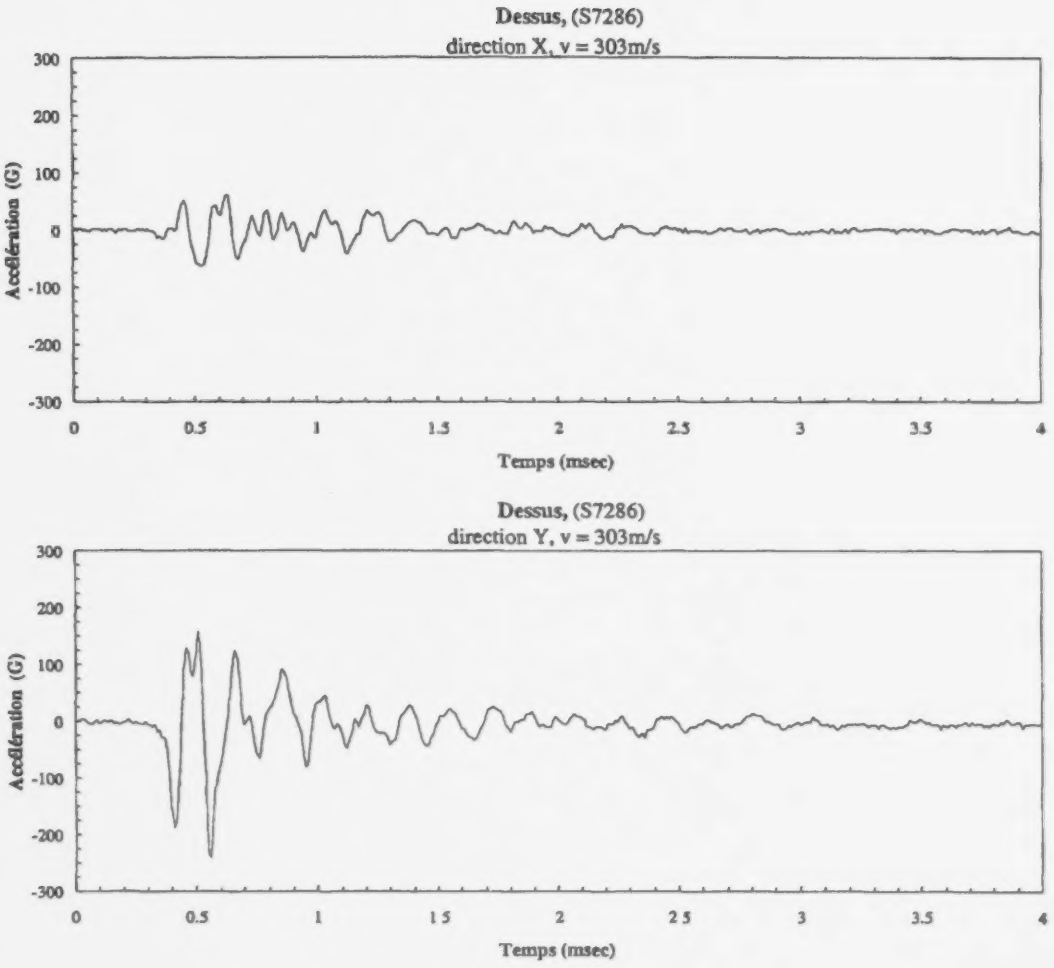




Accélération casque S7285

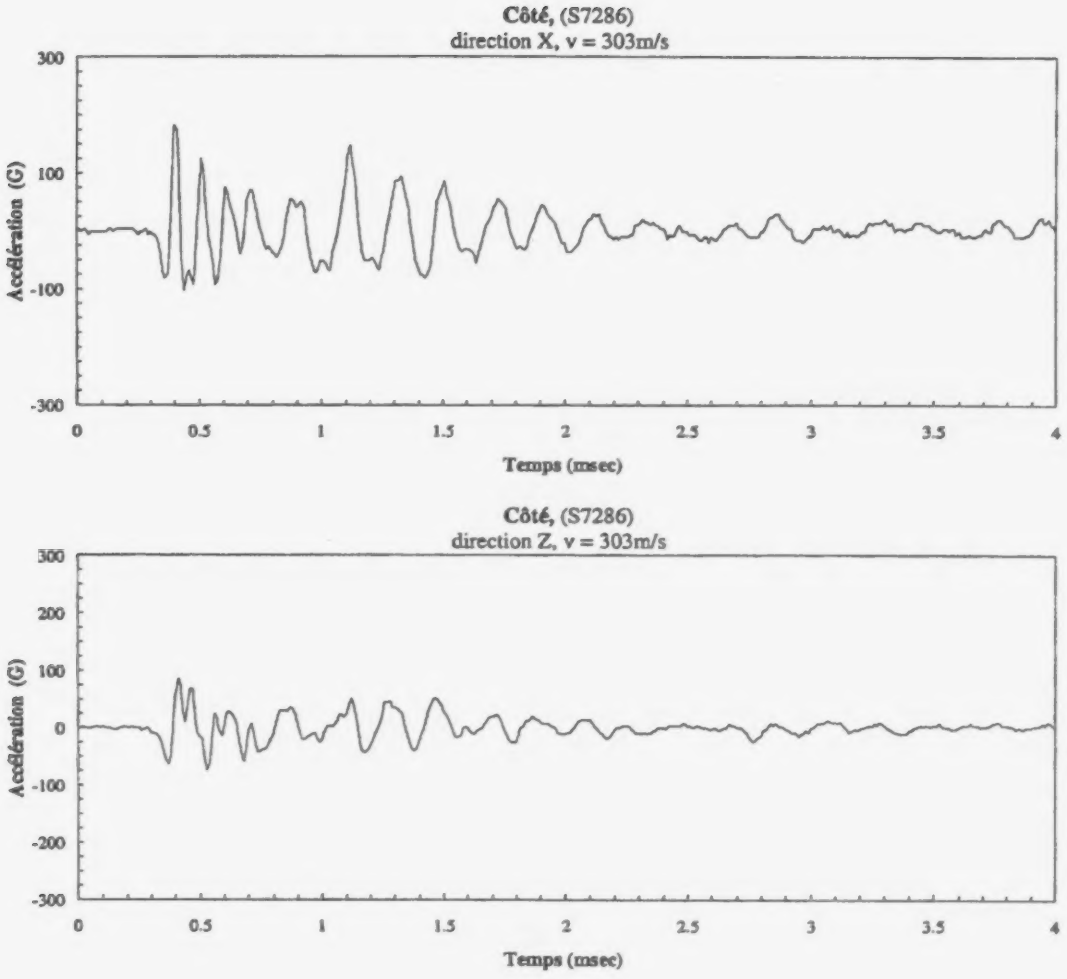


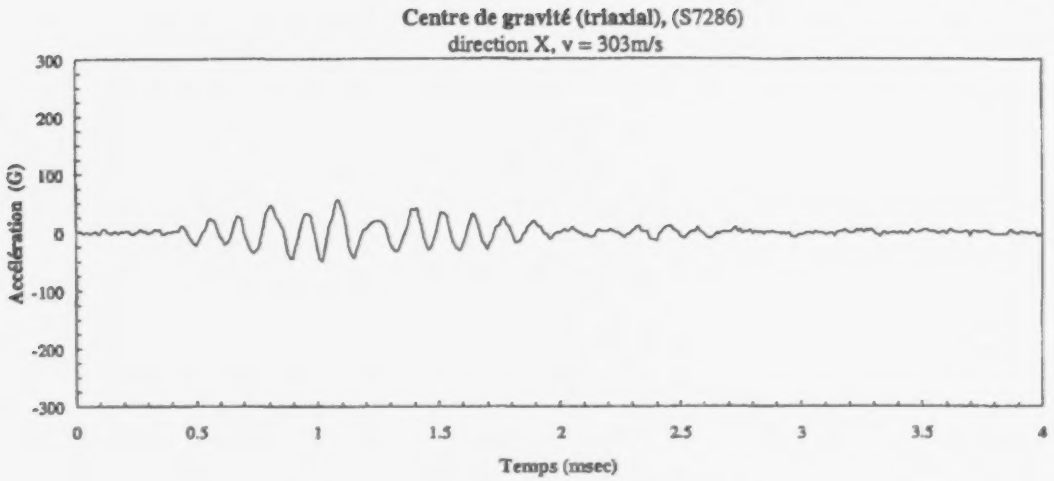

Accélération casque S7286

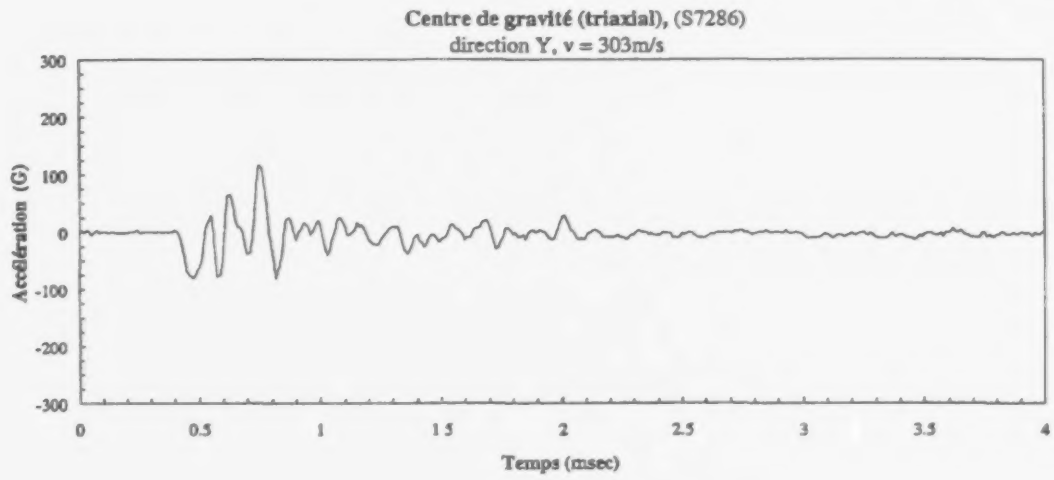


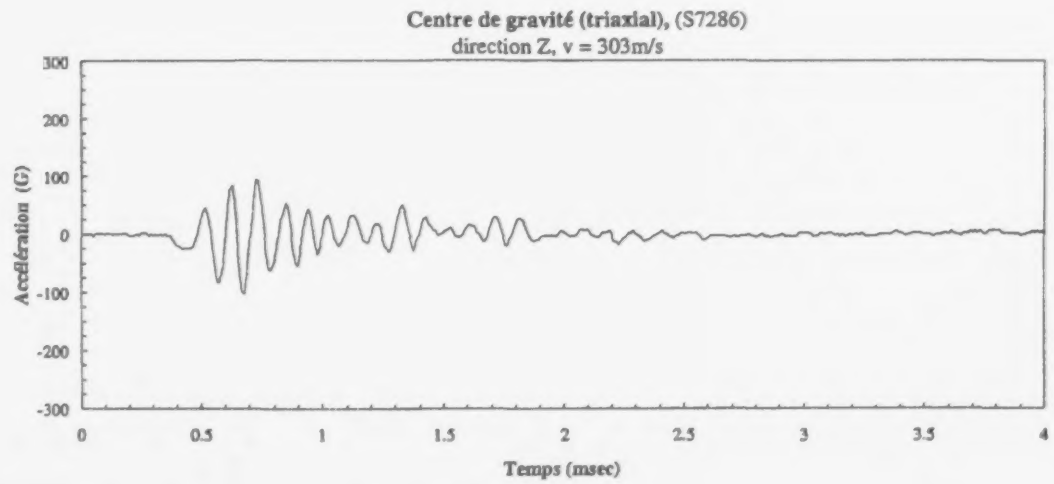

Accélération casque S7286



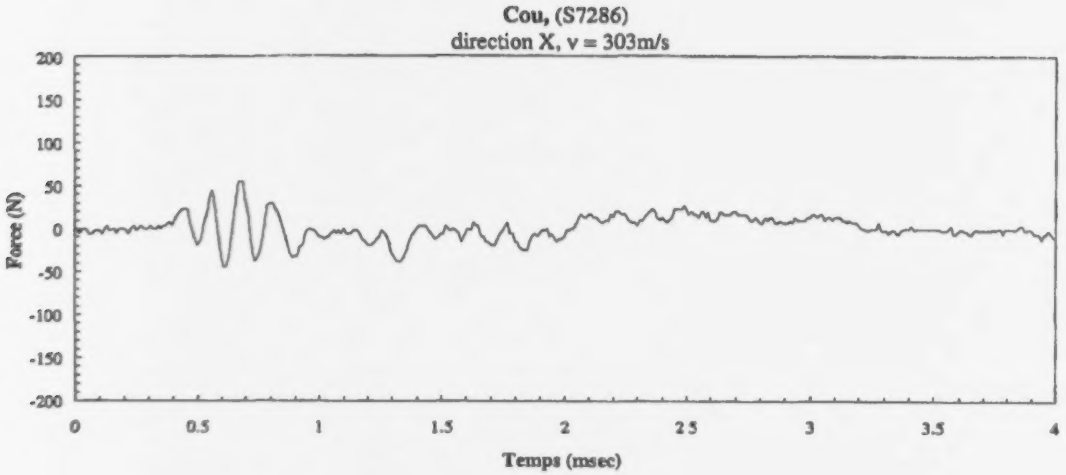

Accélération casque S7286

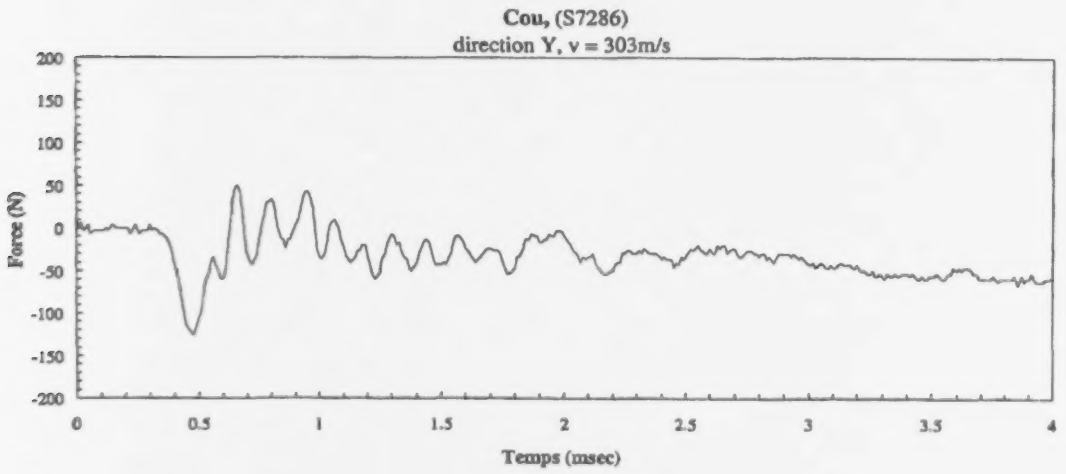


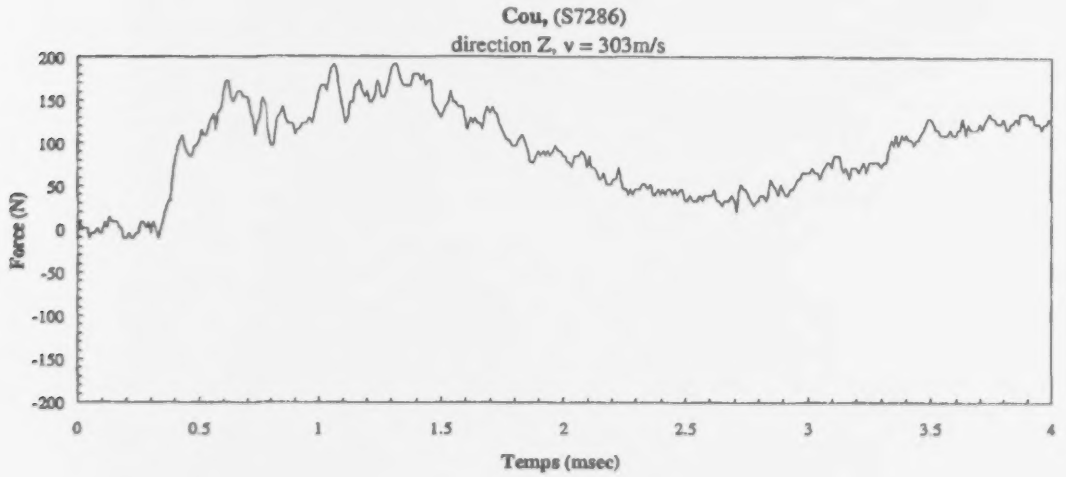



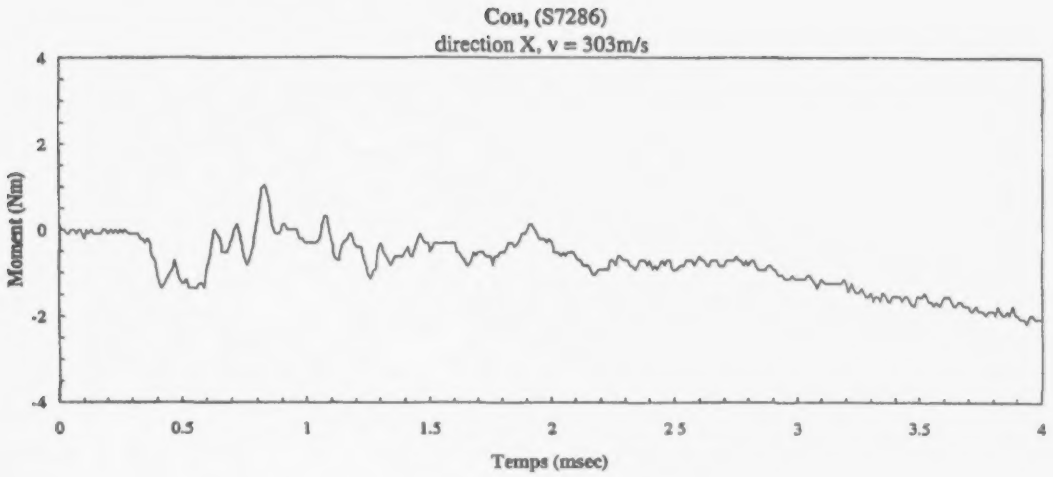

Accélération casque S7286

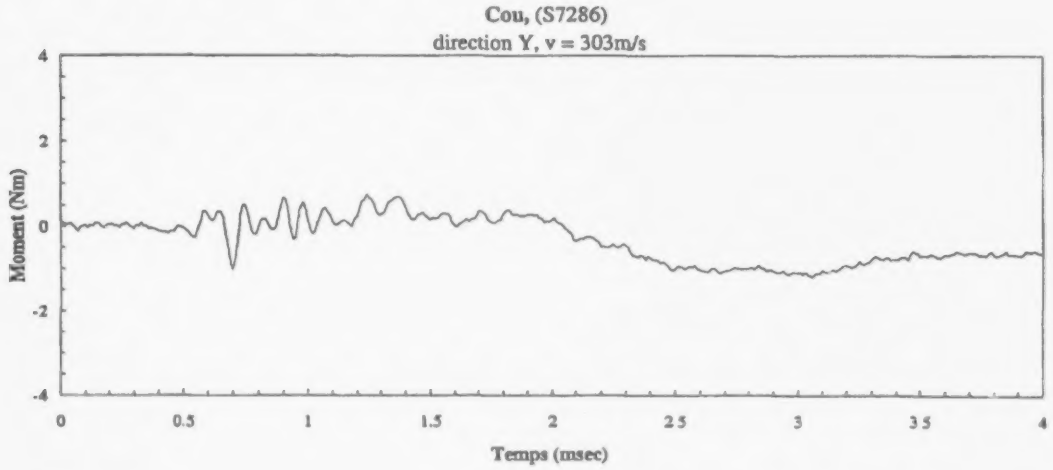


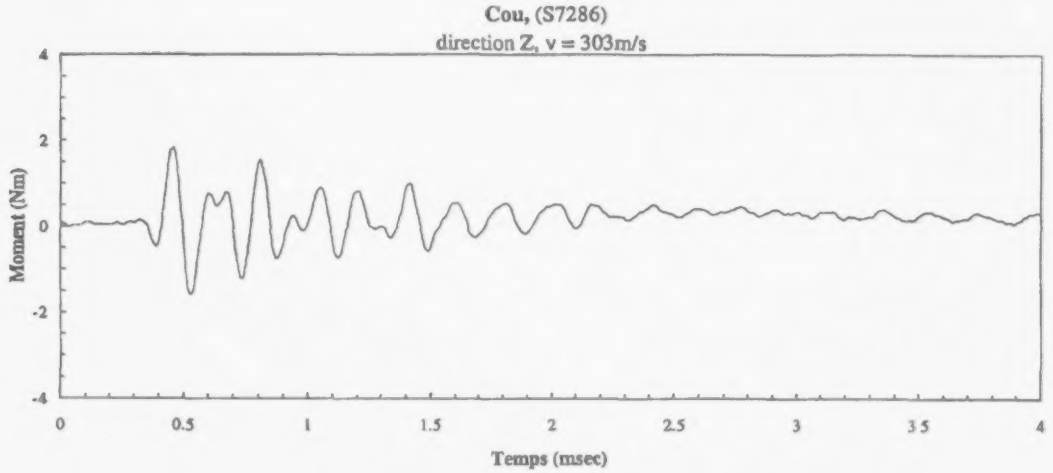



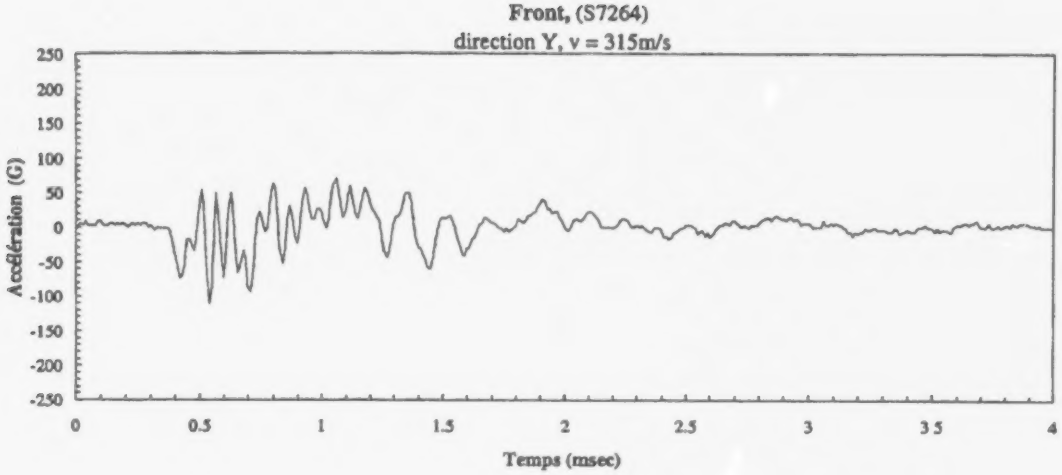

Accélération casque S7286

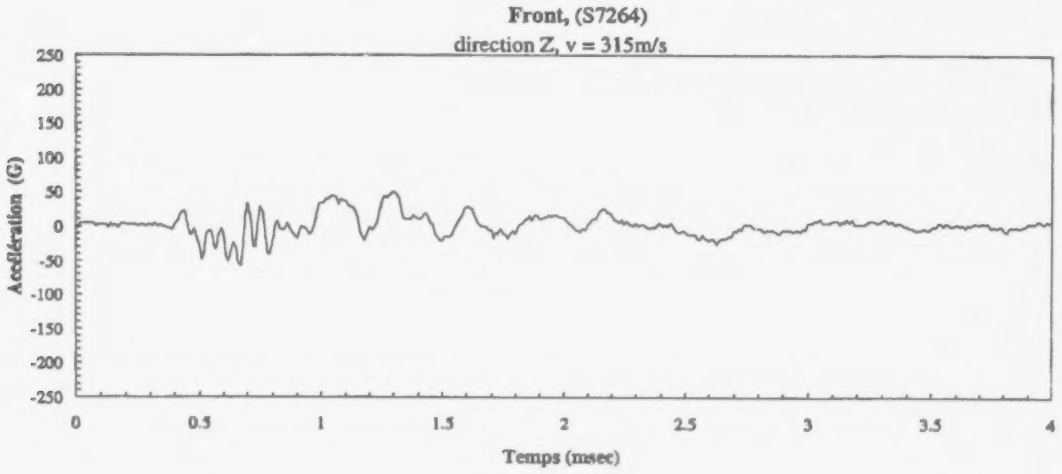


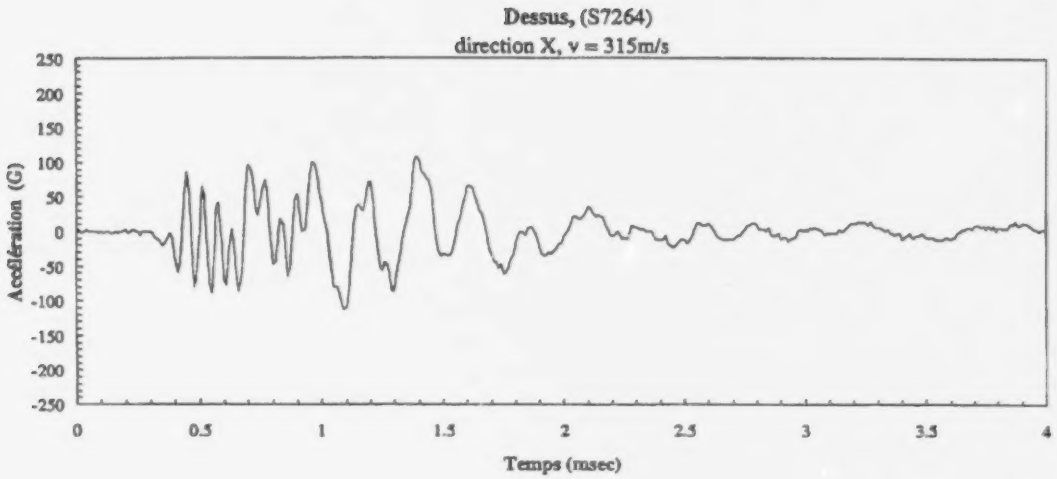



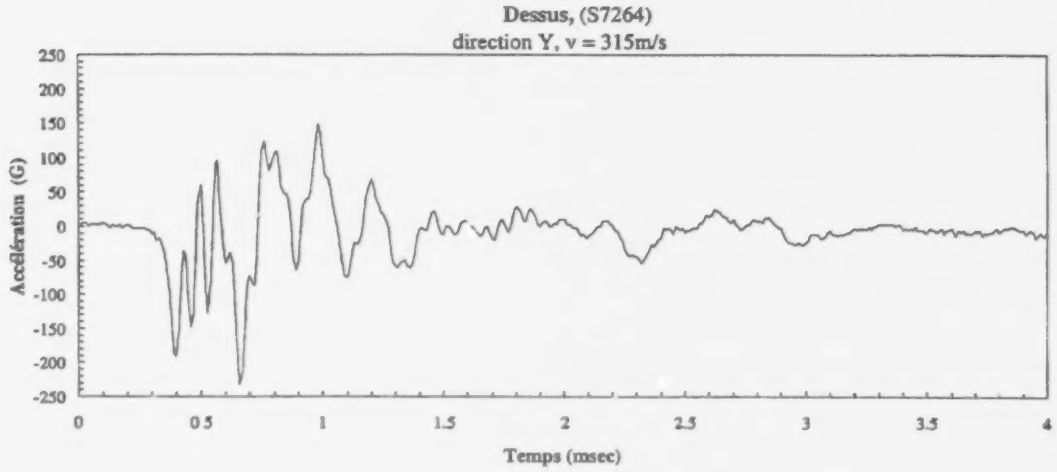

Accélération casque S7286



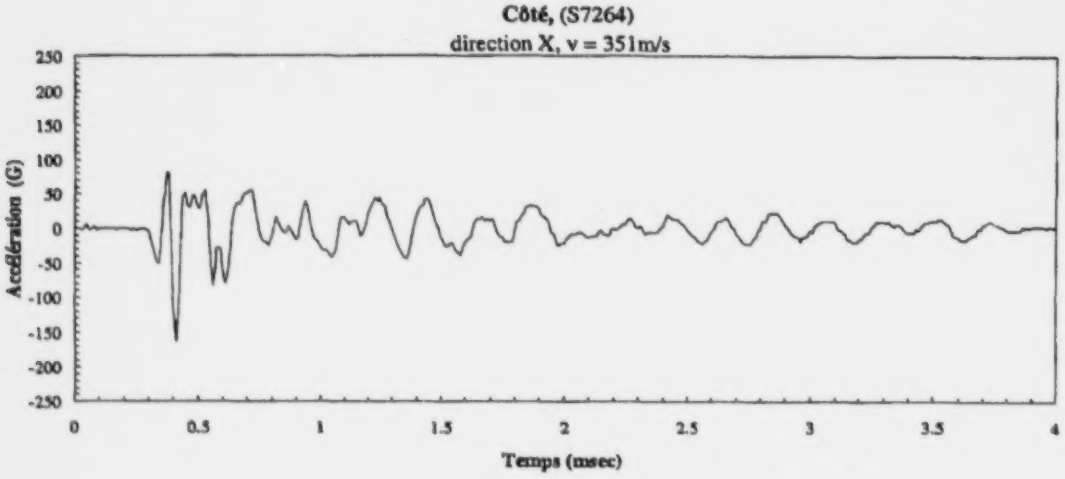



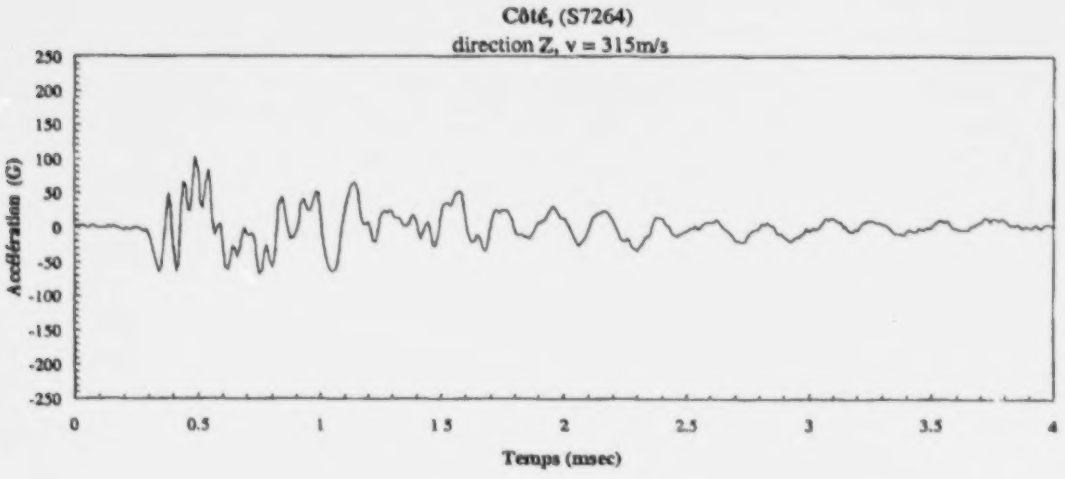

Accélération casque S7264



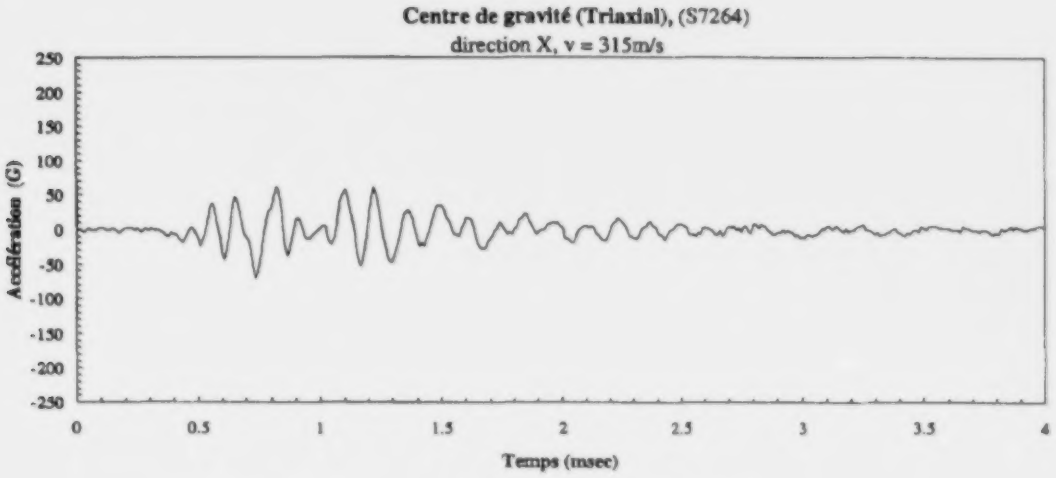



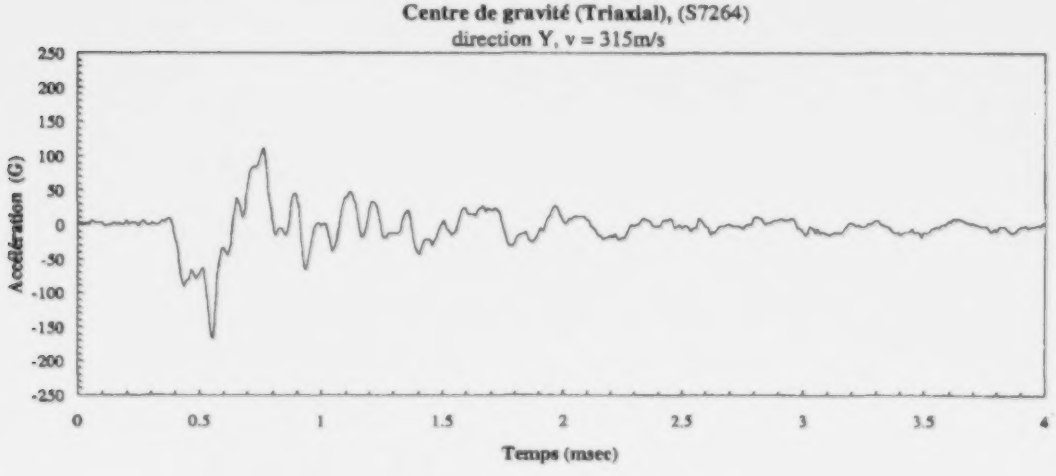

Accélération casque S7264

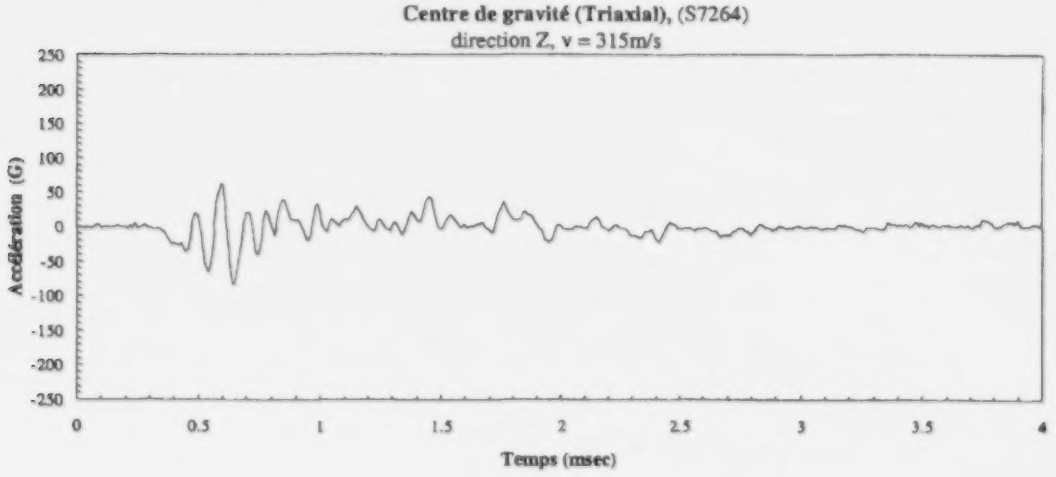


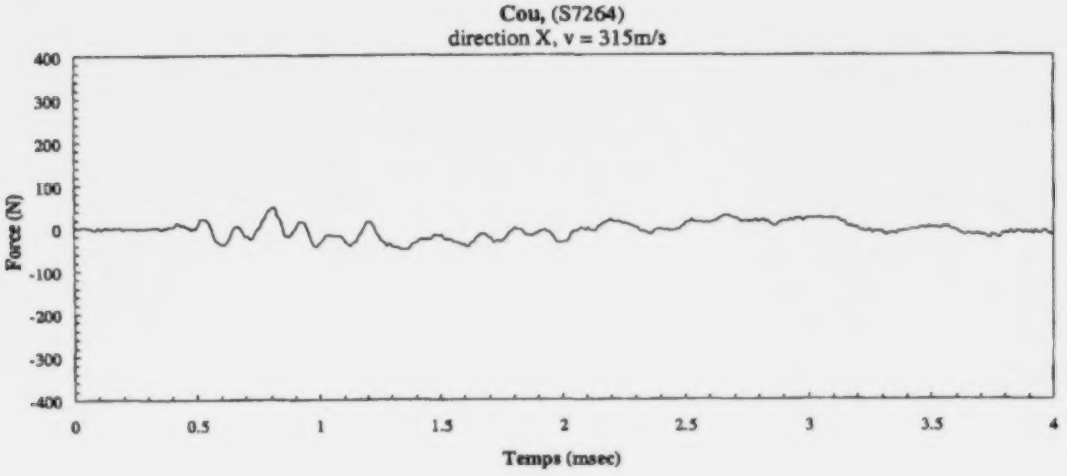

Accélération casque S7264

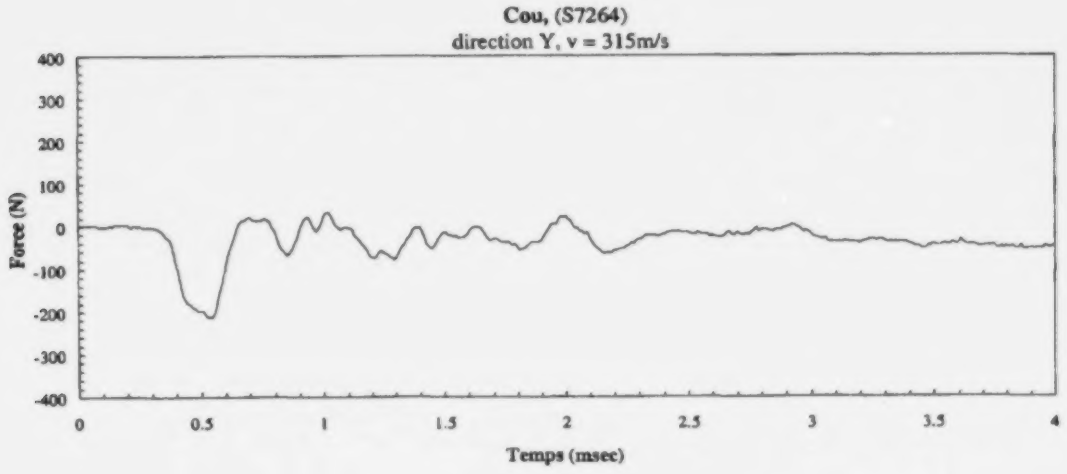


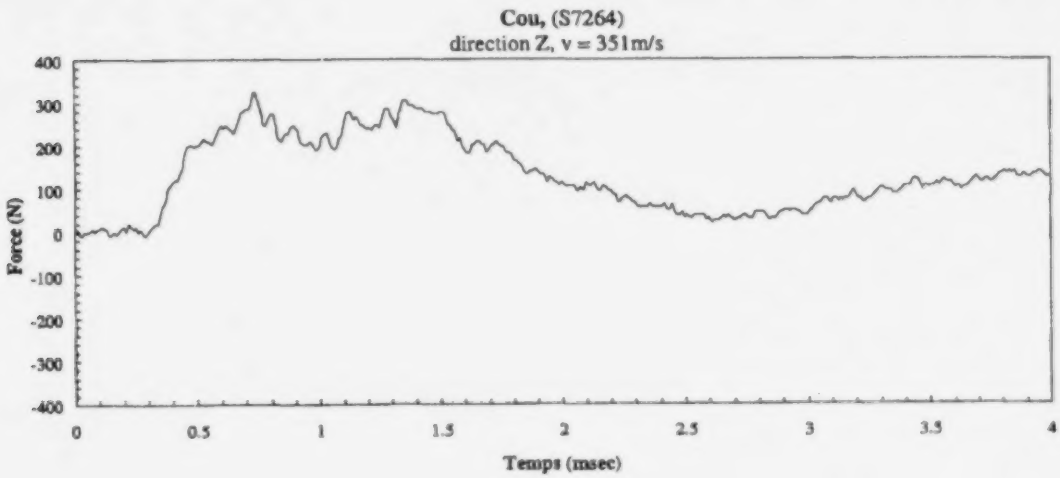



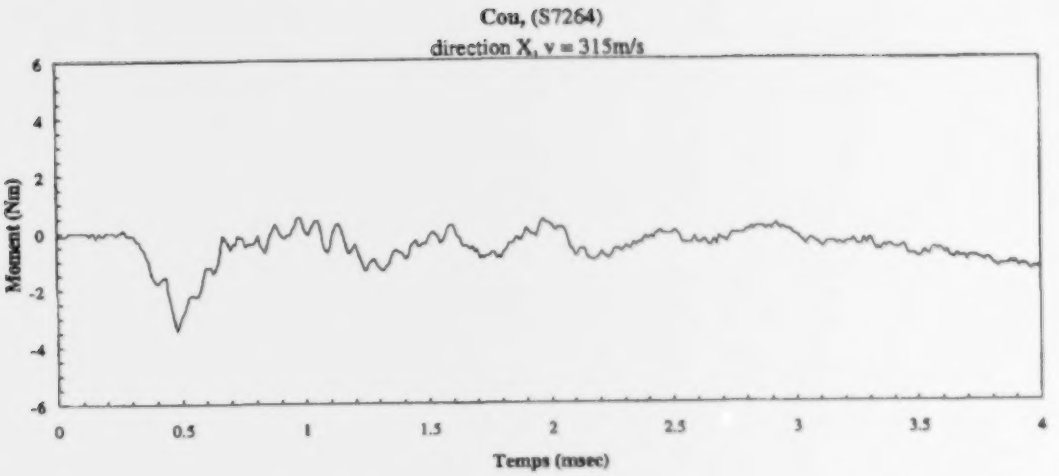

Accélération casque S7264

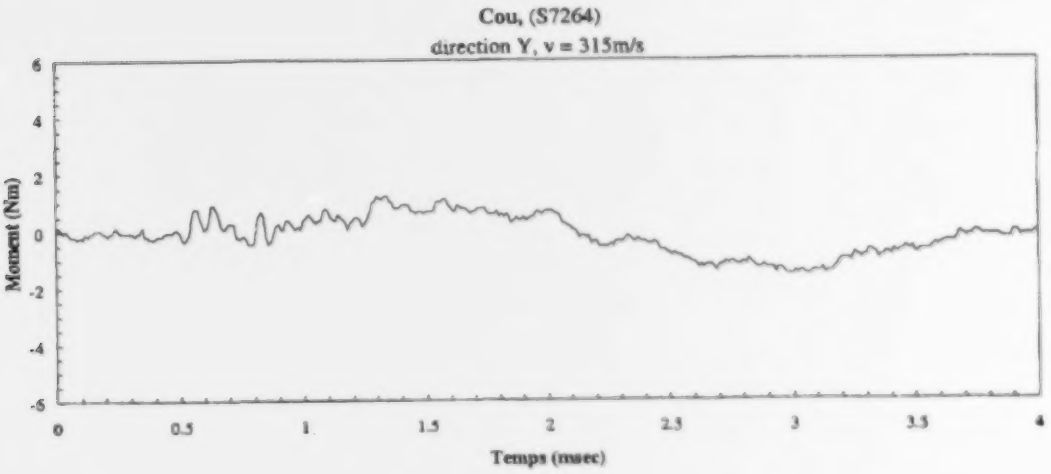


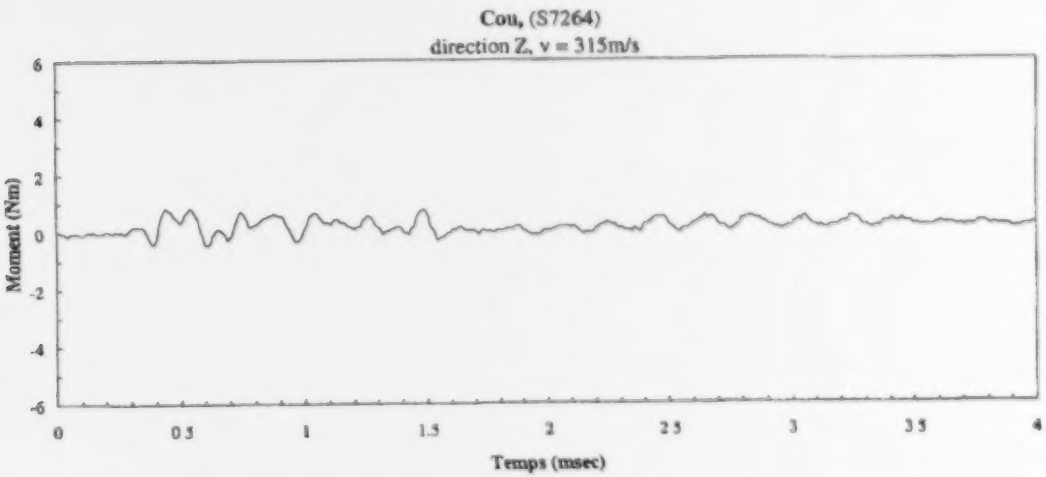



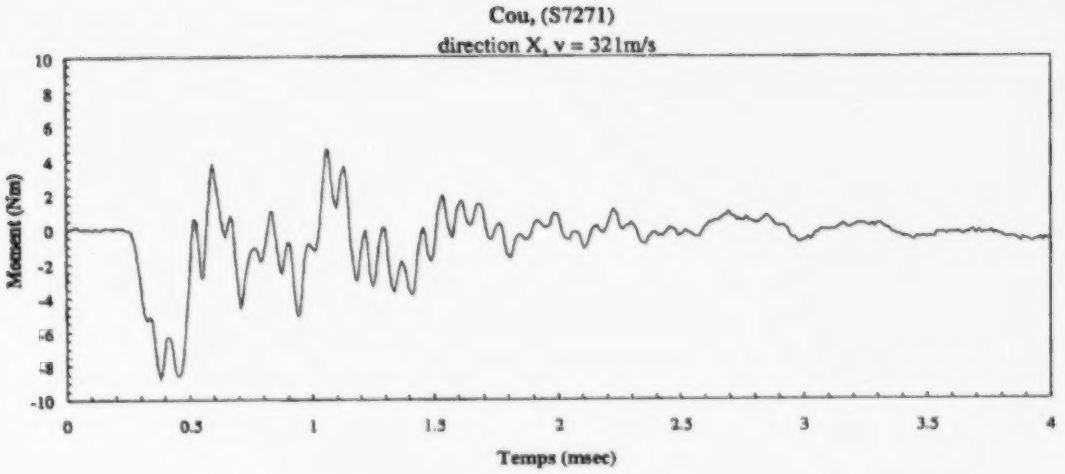

Accélération casque S7264

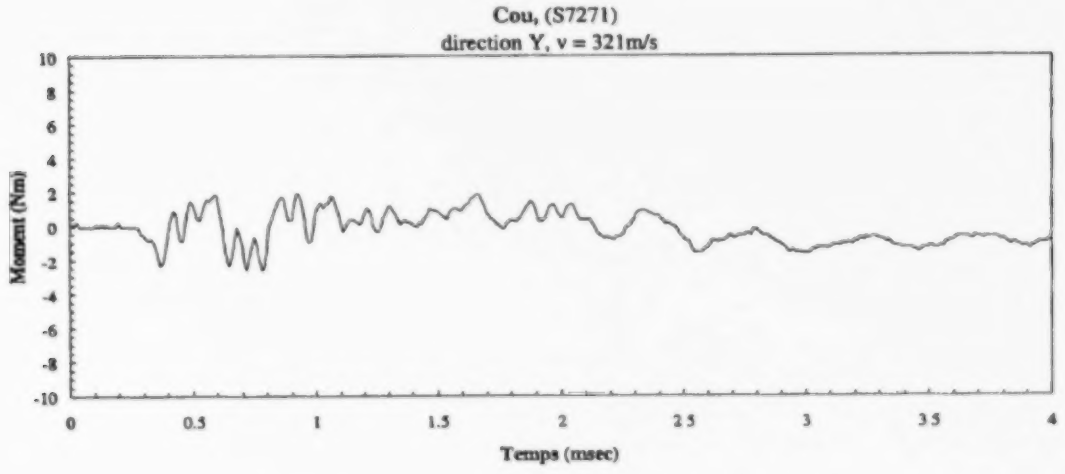


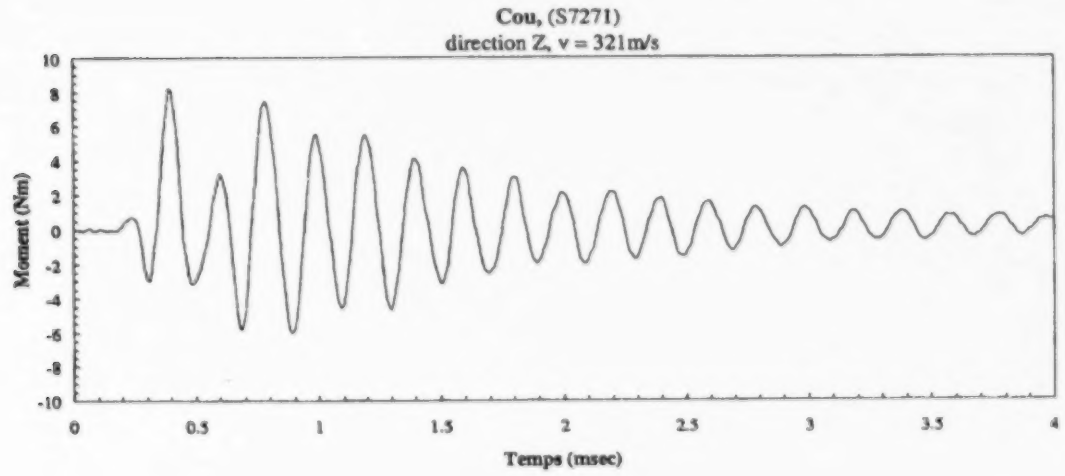



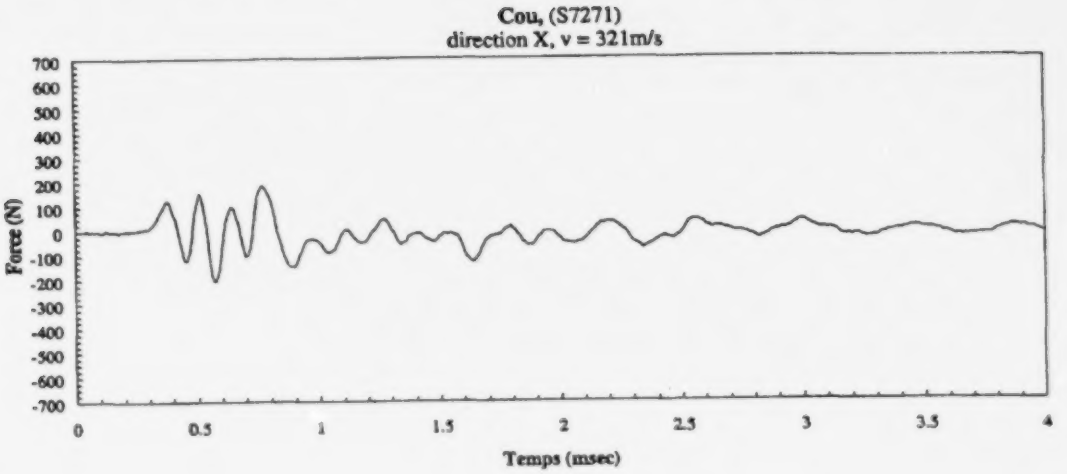

Accélération casque S7264

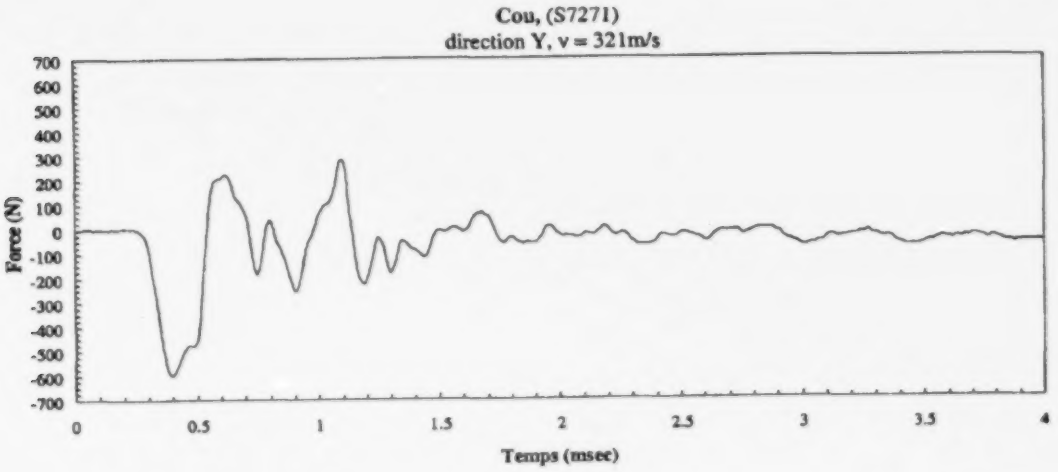


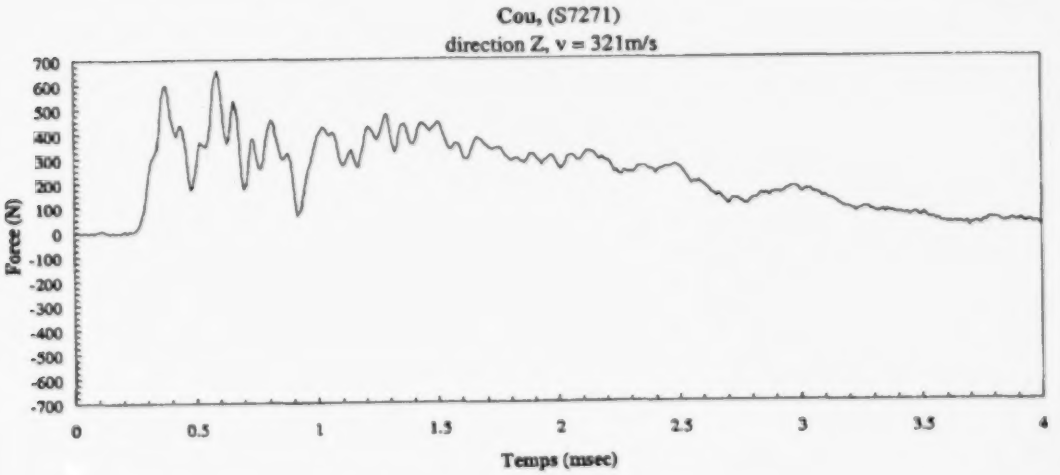



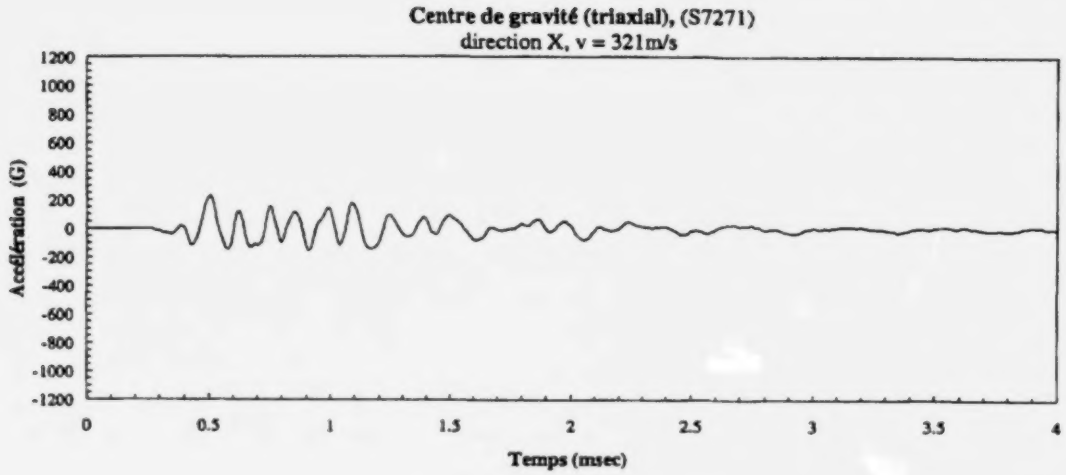

Accélération casque S7271

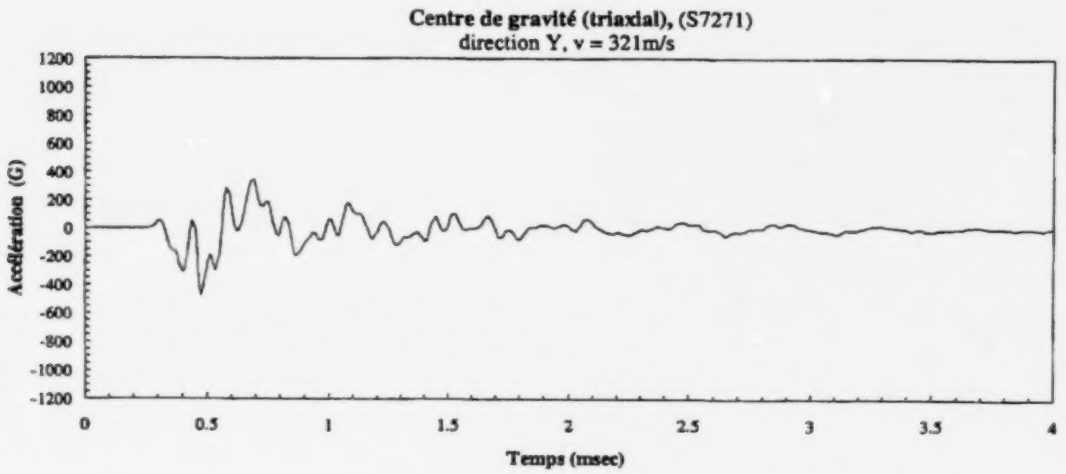


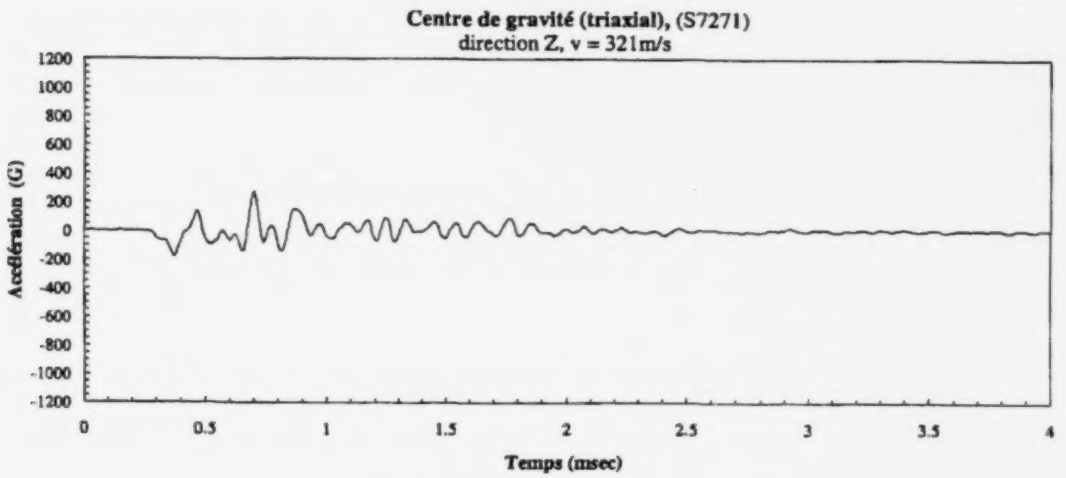



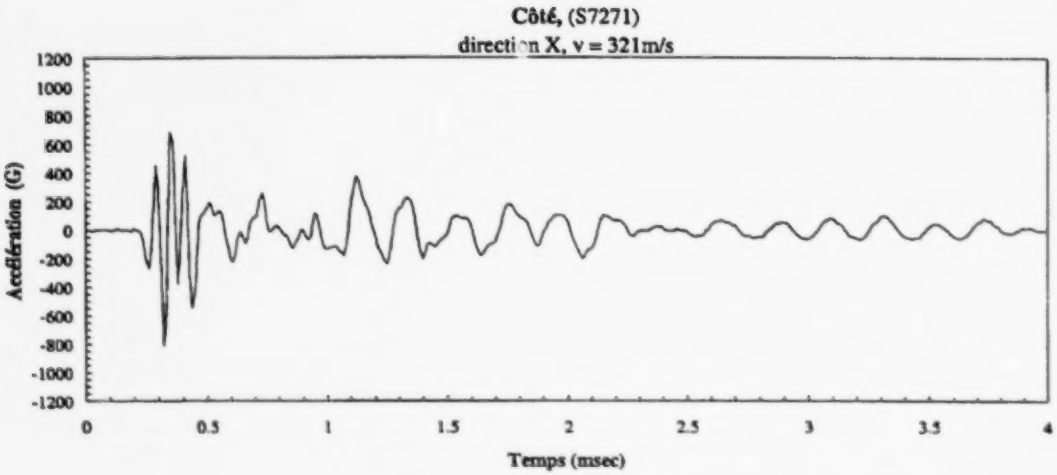

Accélération casque S7271

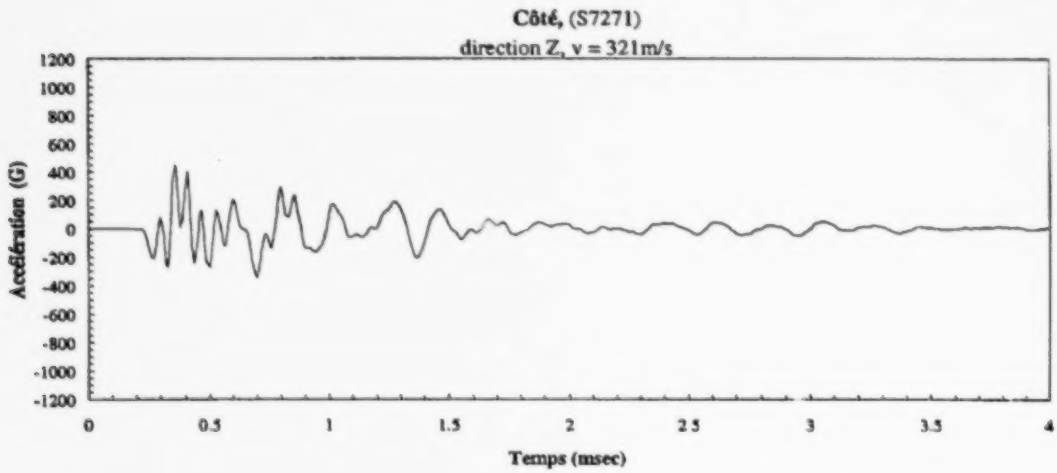


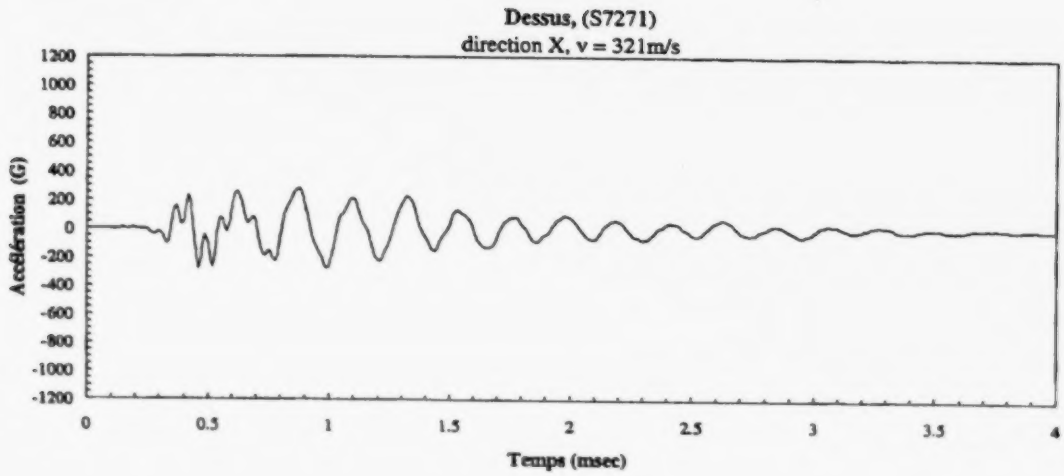



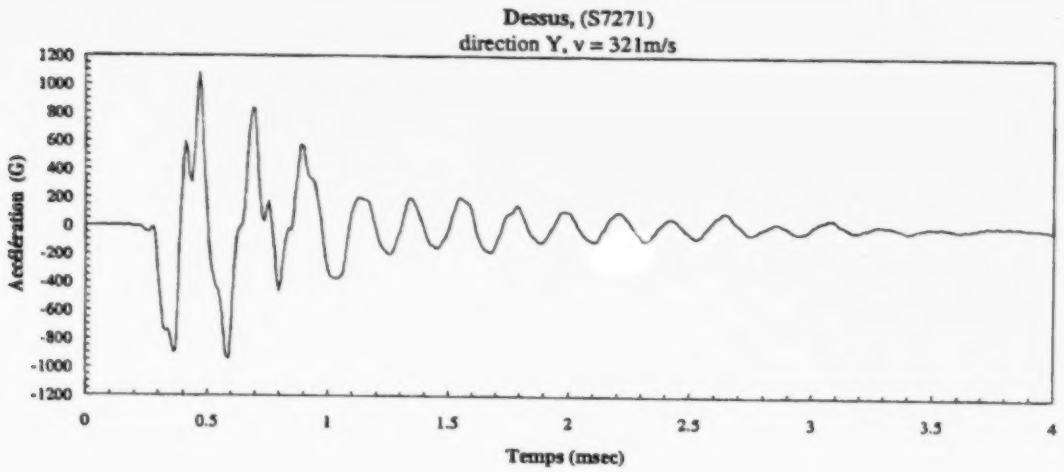

Accélération casque S7271



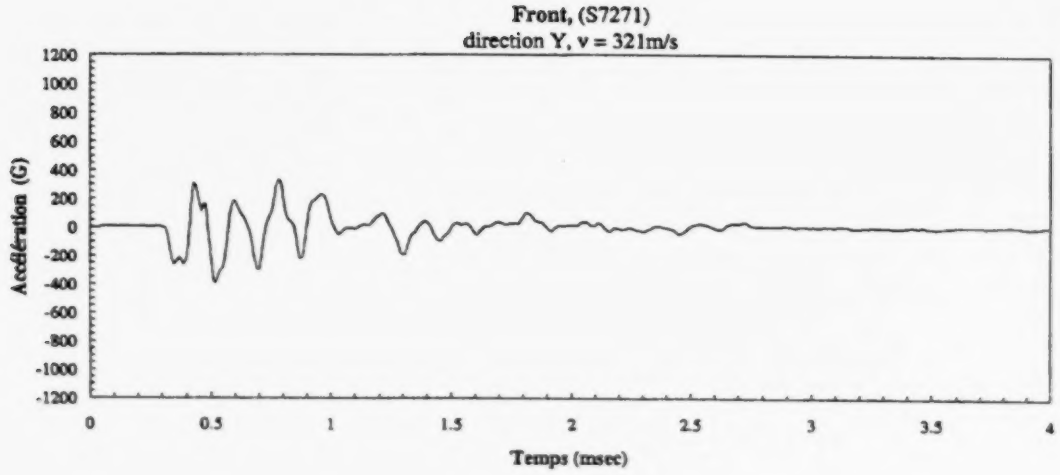



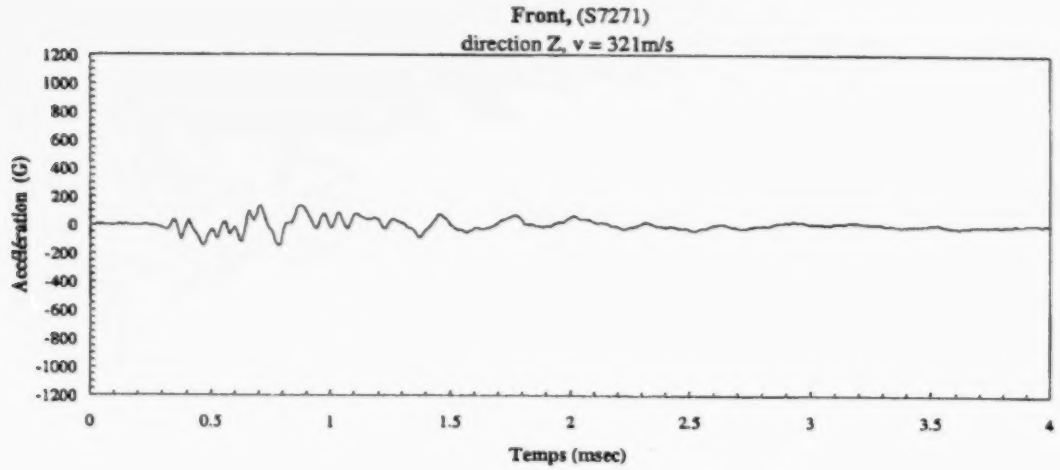

Accélération casque S7271



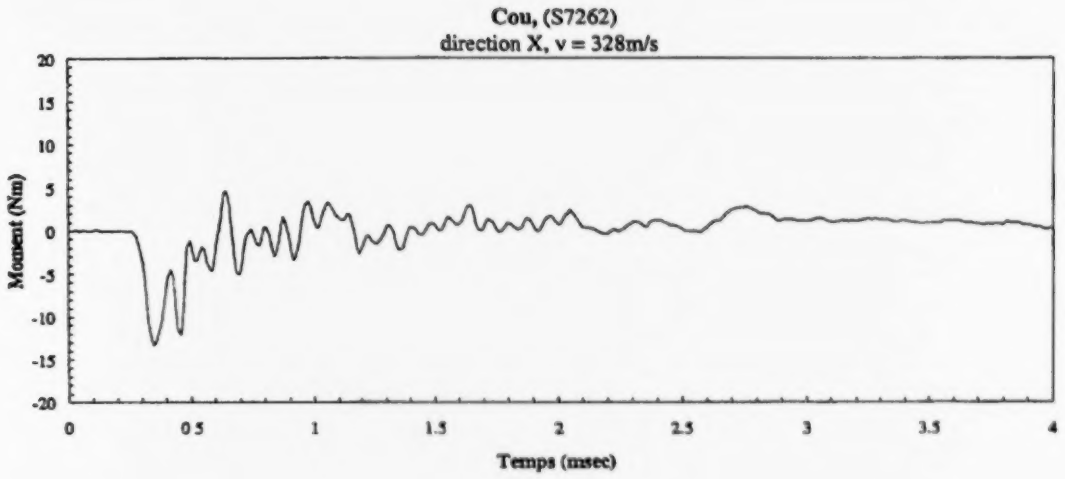



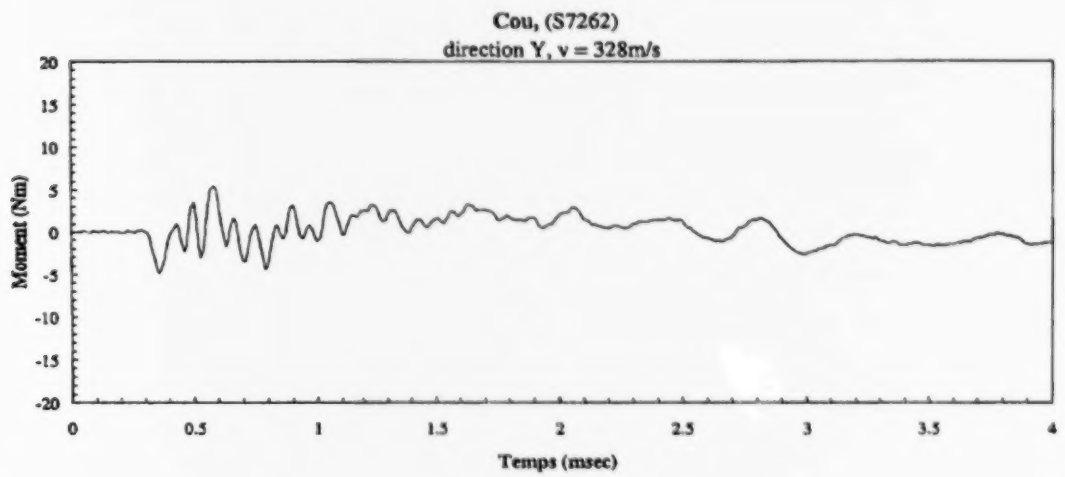

Accélération casque S7271

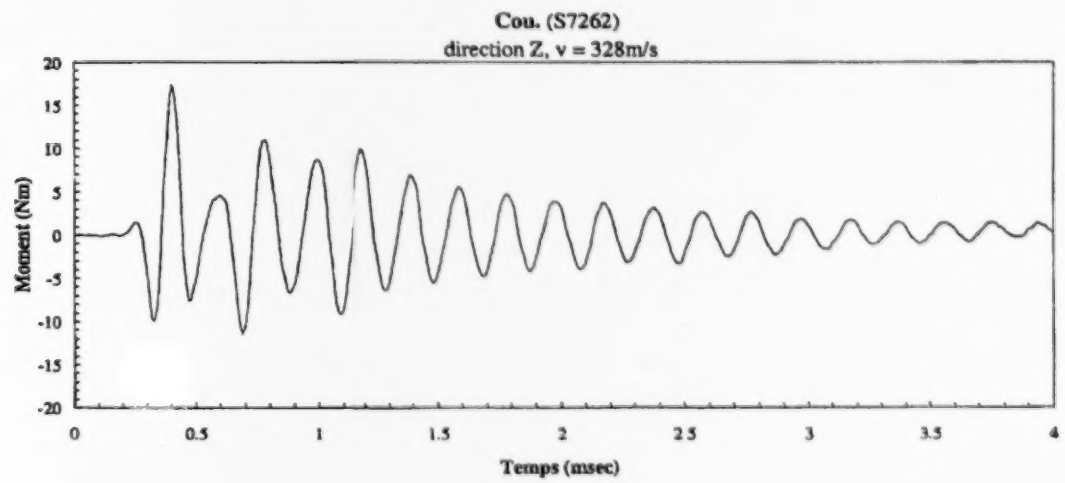


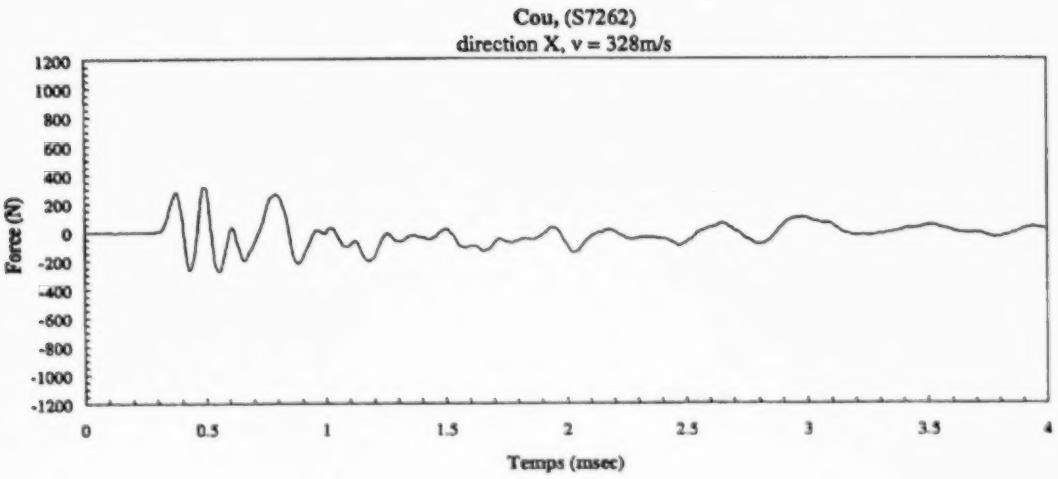

Accélération casque S7271

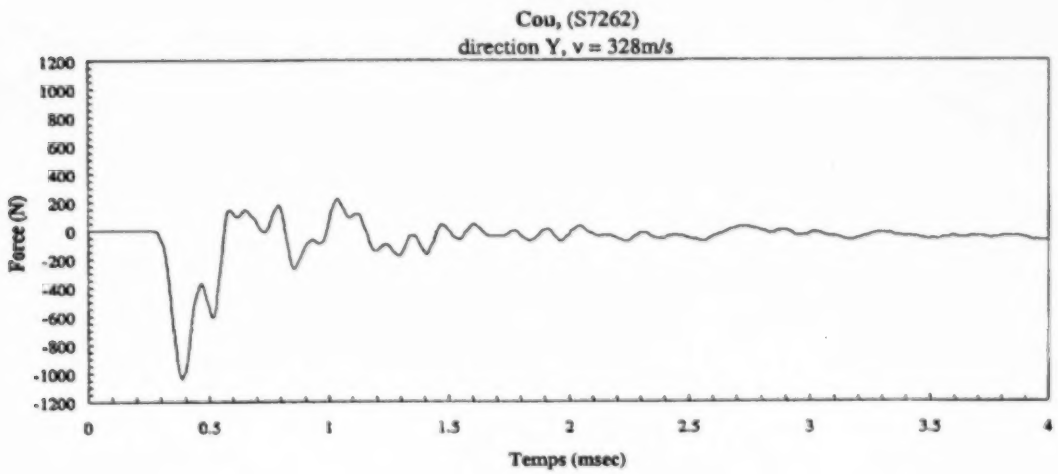


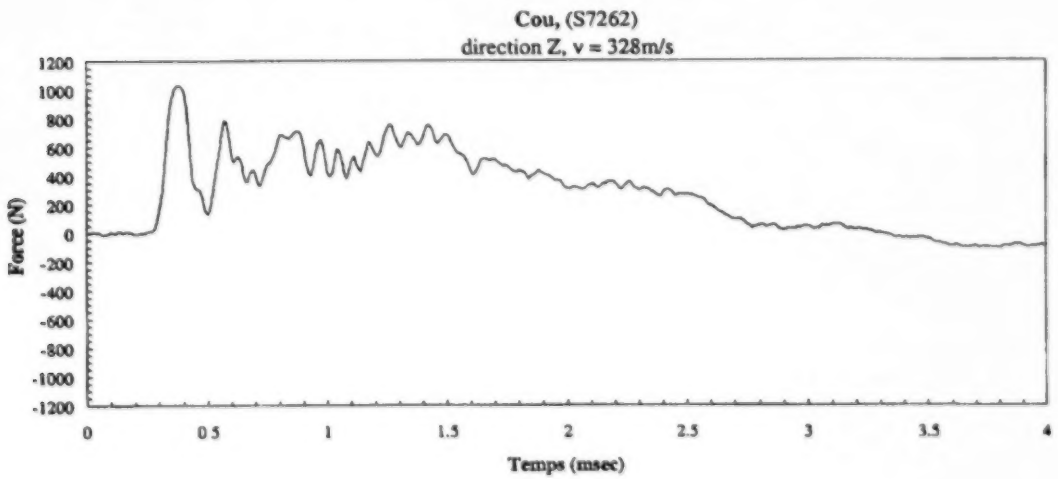



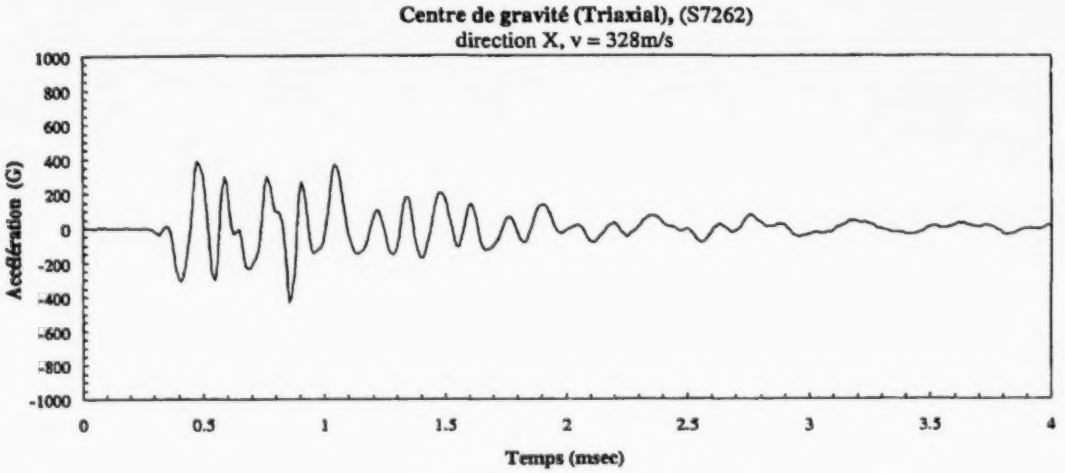

Accélération casque S7262

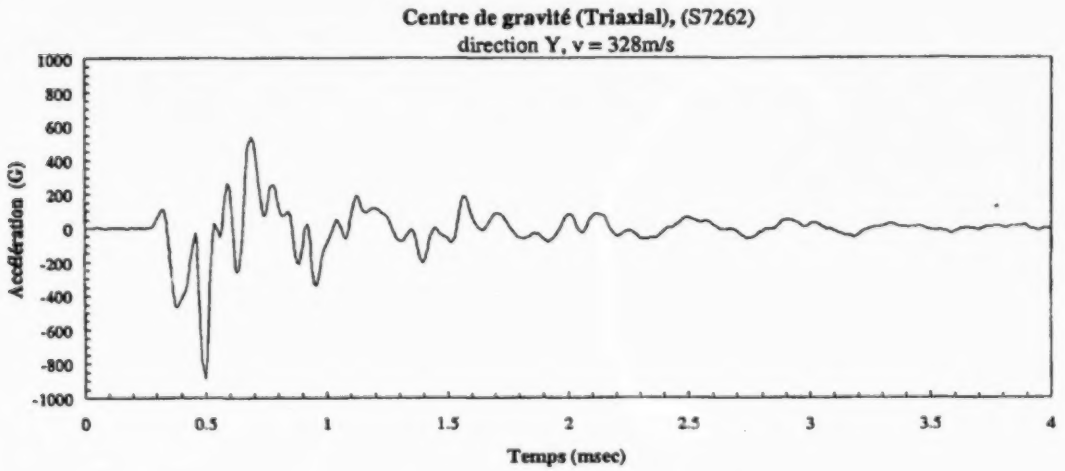


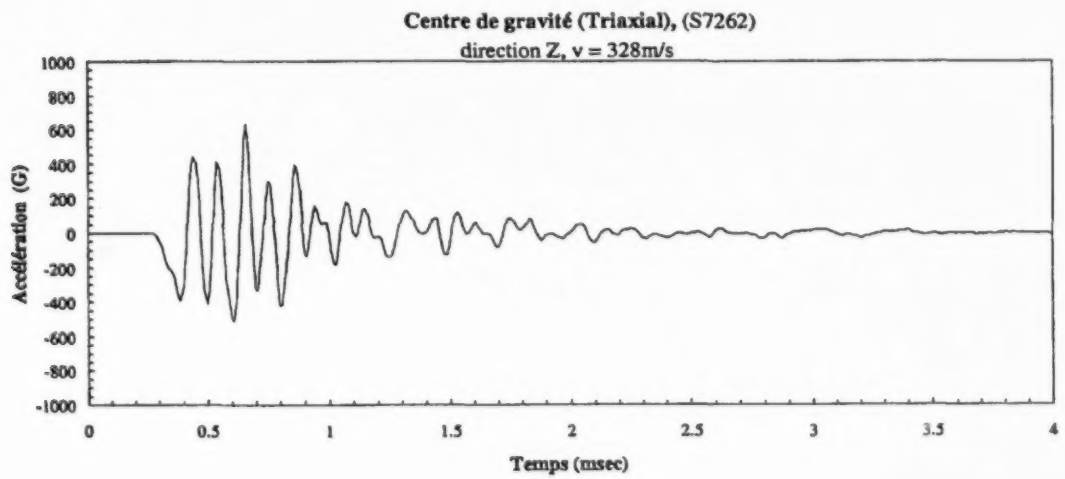



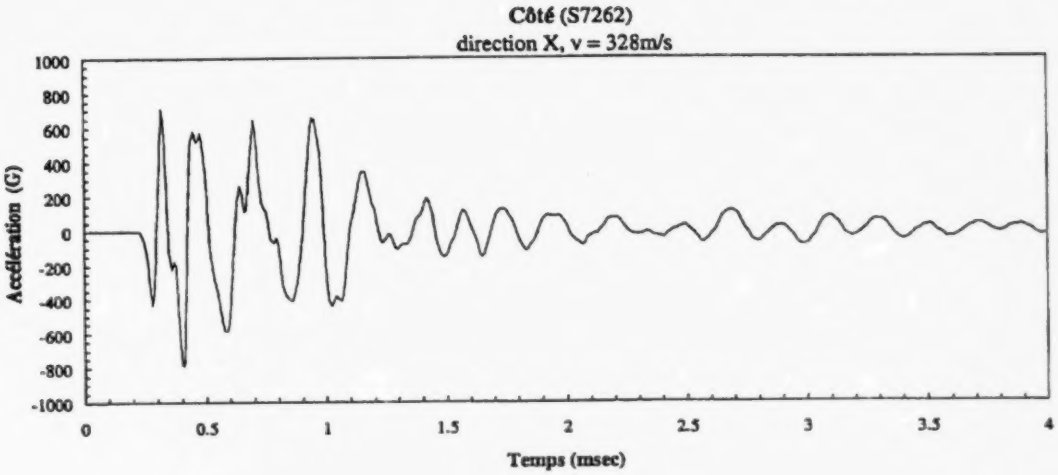

Accélération casque S7262

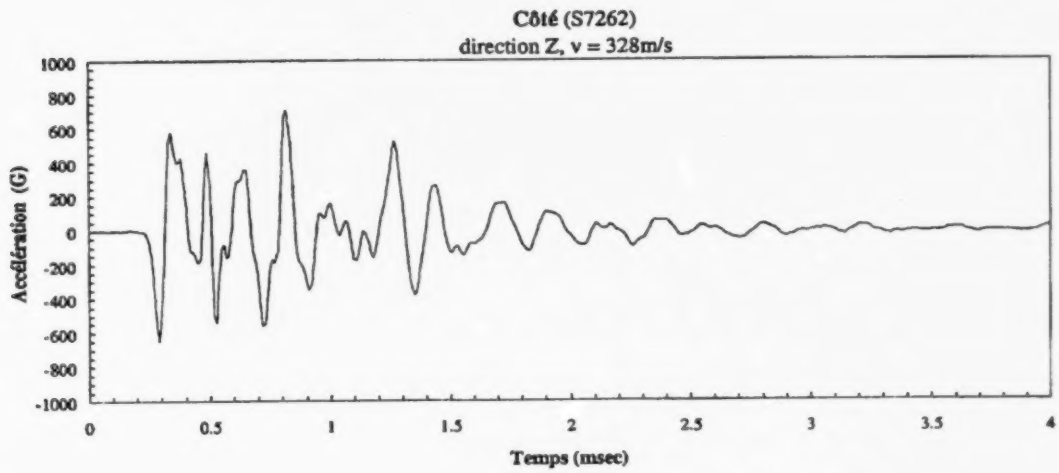


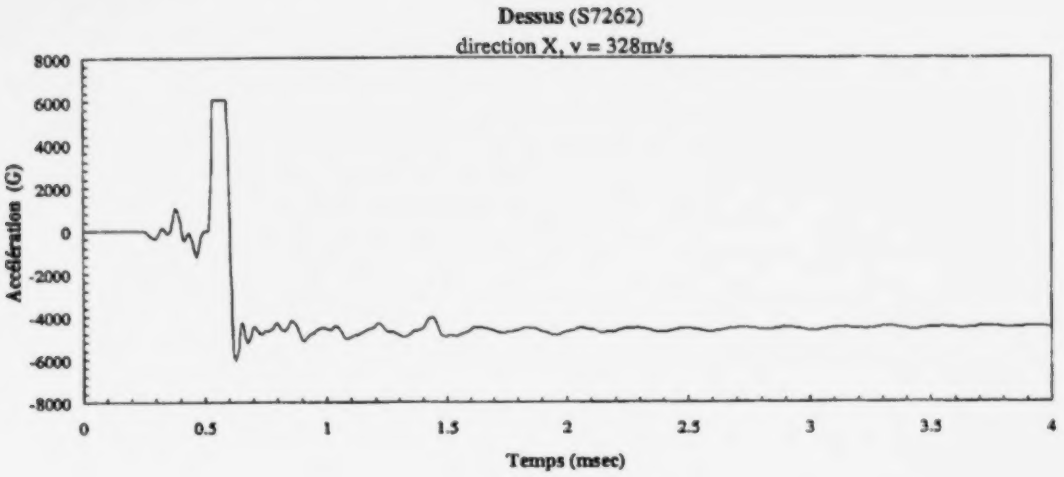



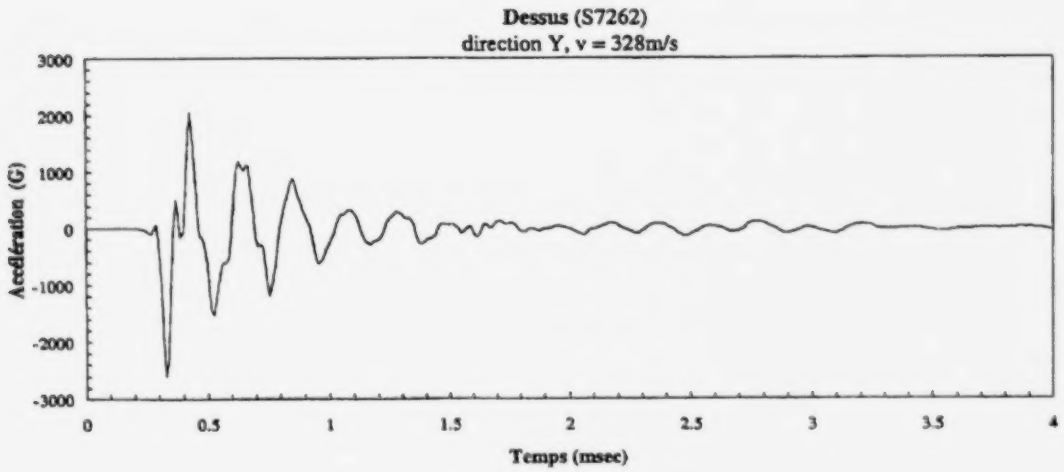

Accélération casque S7262



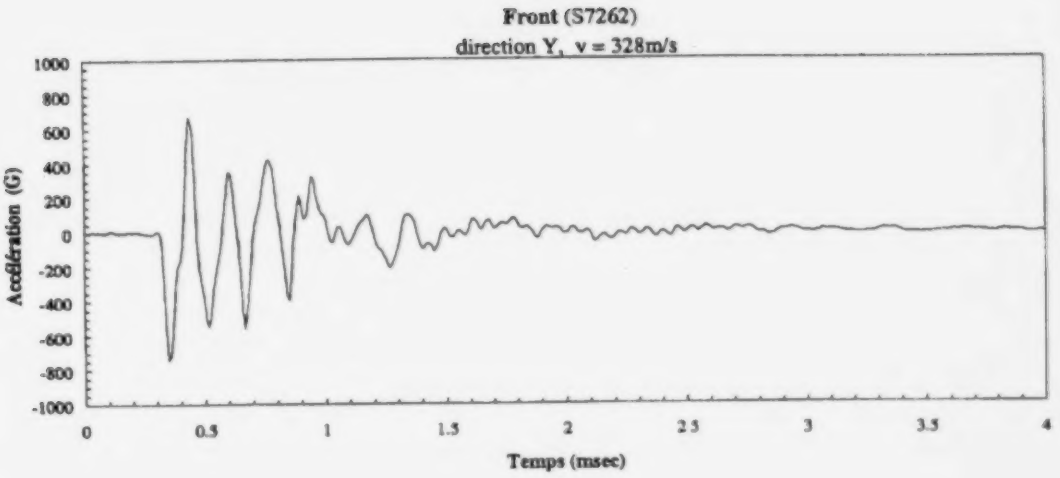



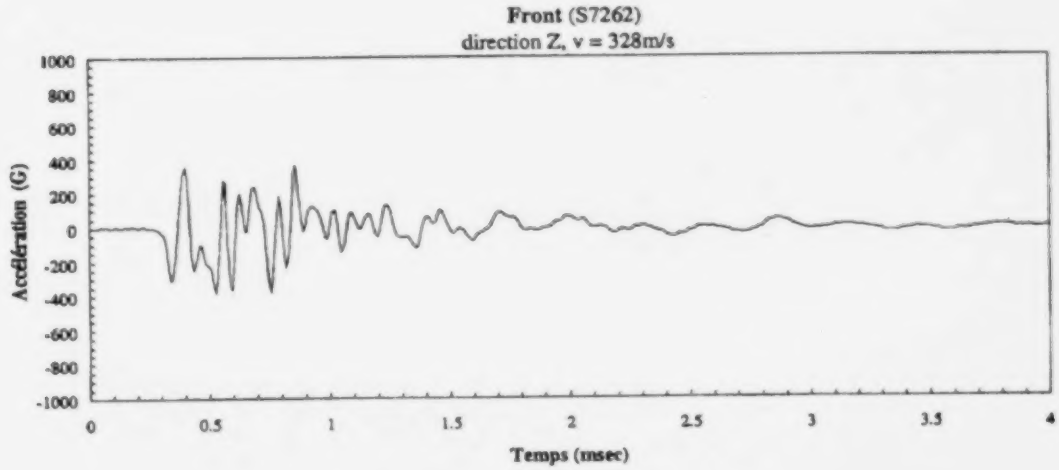

Accélération casque S7262



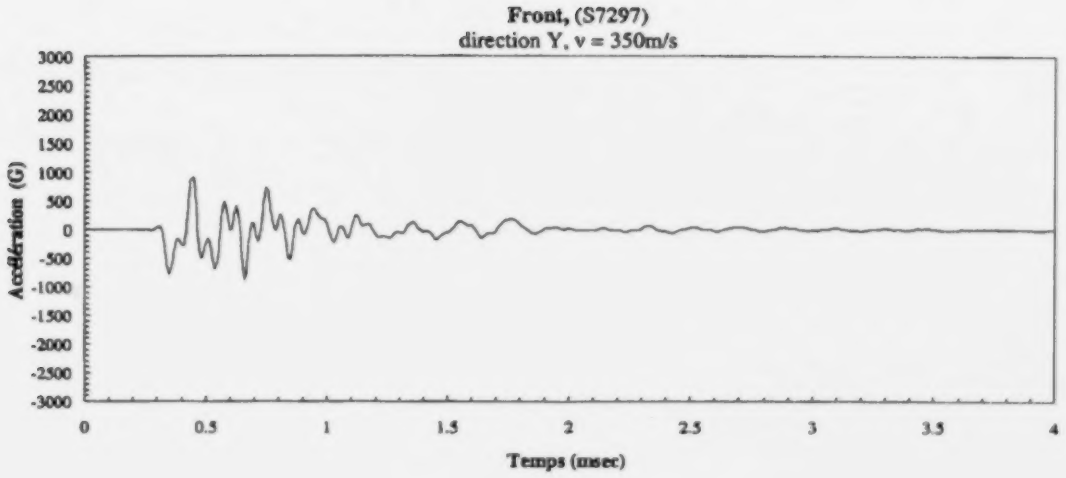



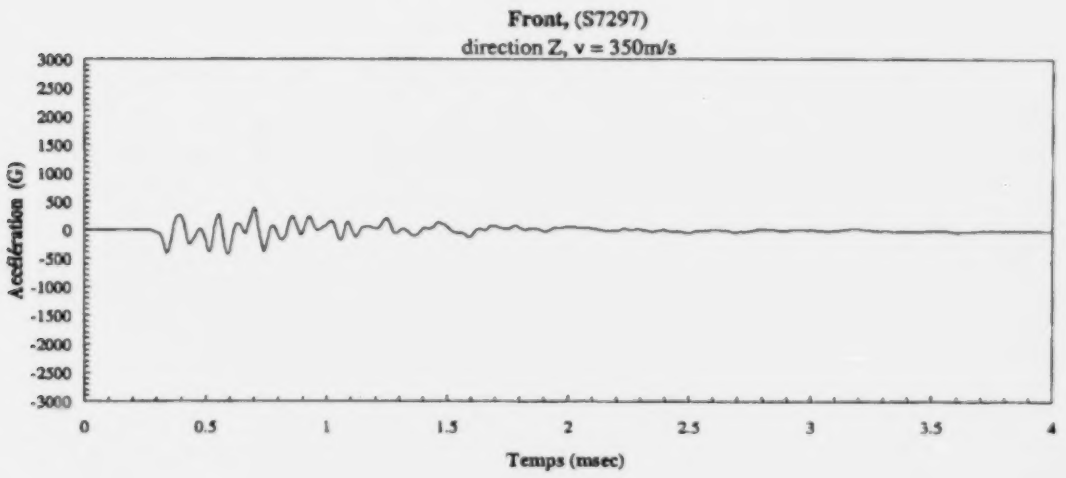

Accélération casque S7262



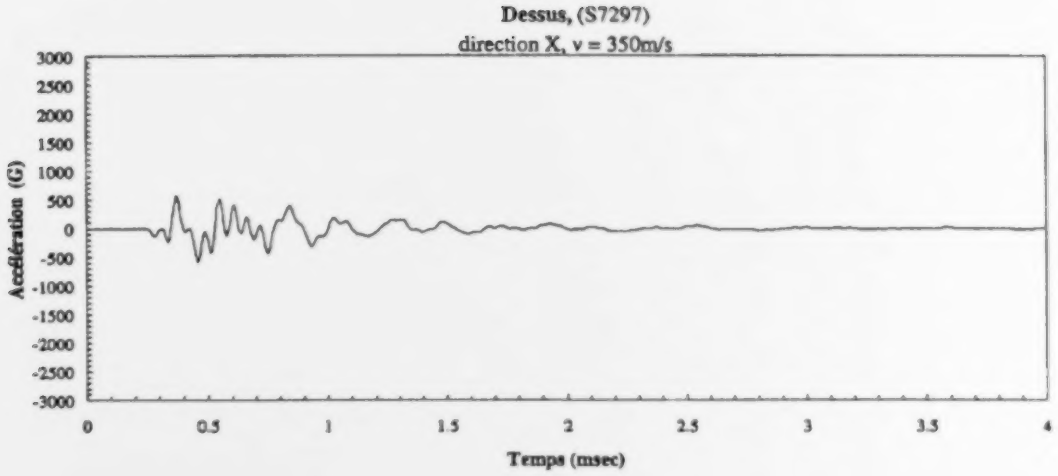



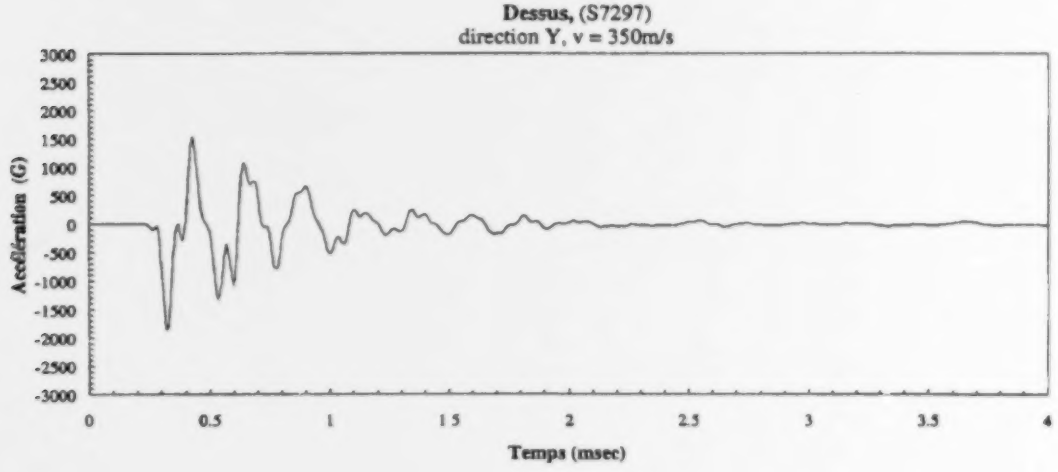

Accélération casque S7262



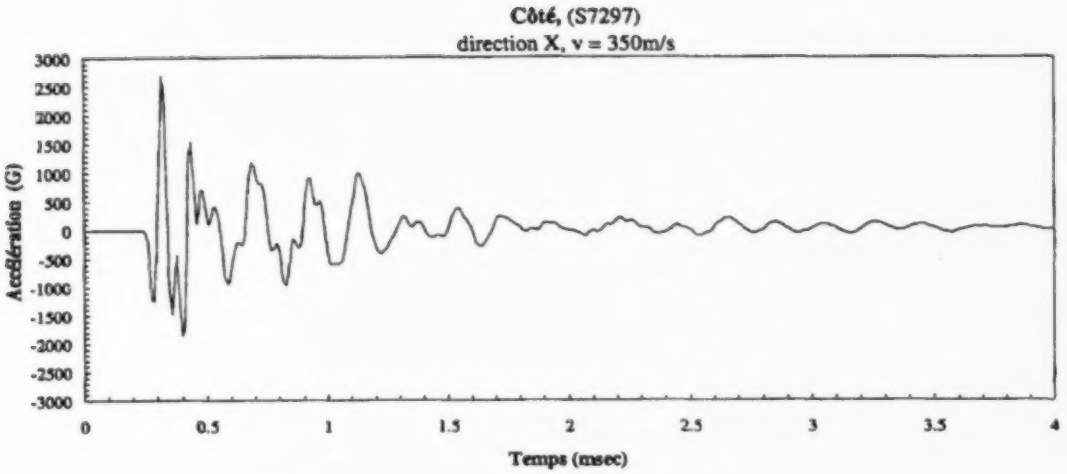



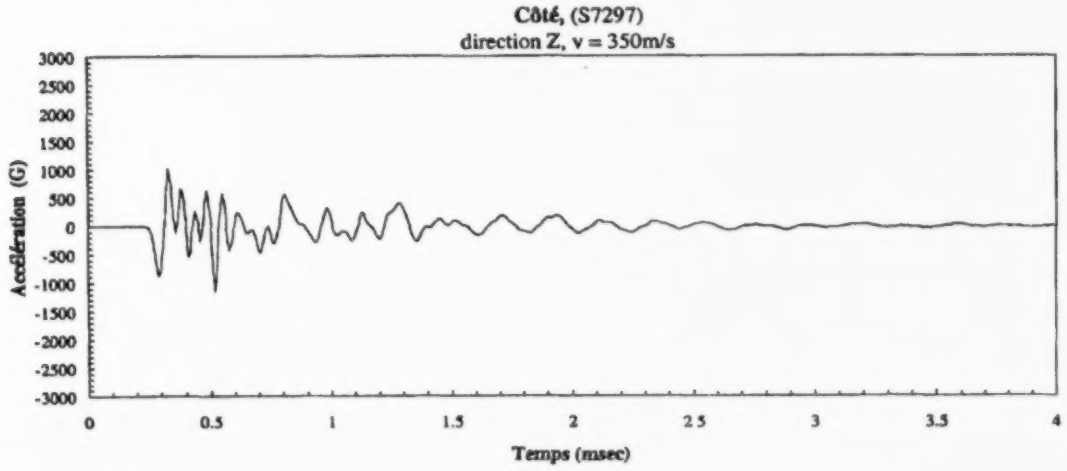

Accélération casque S7297



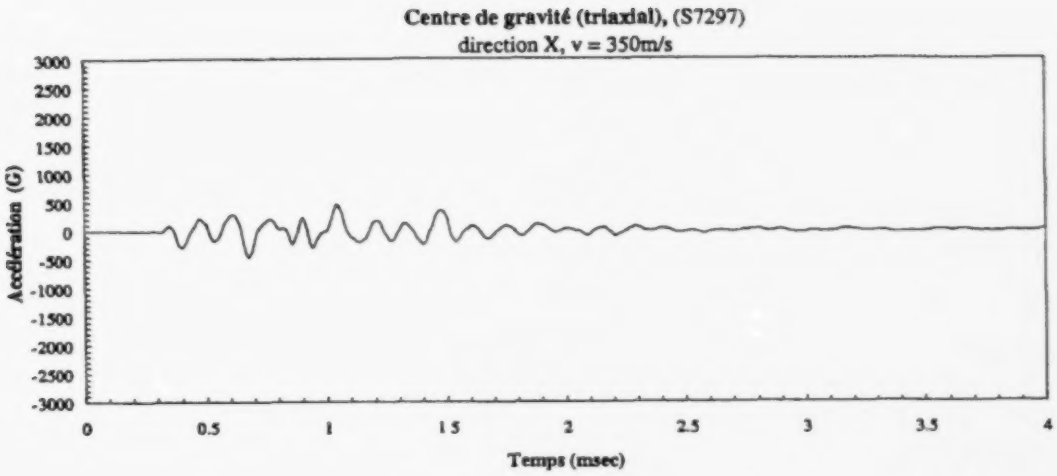



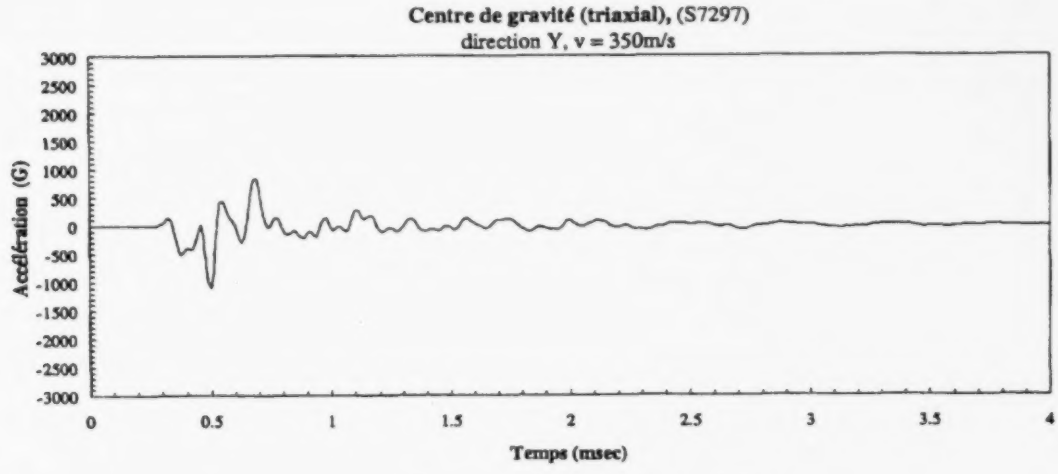

Accélération casque S7297

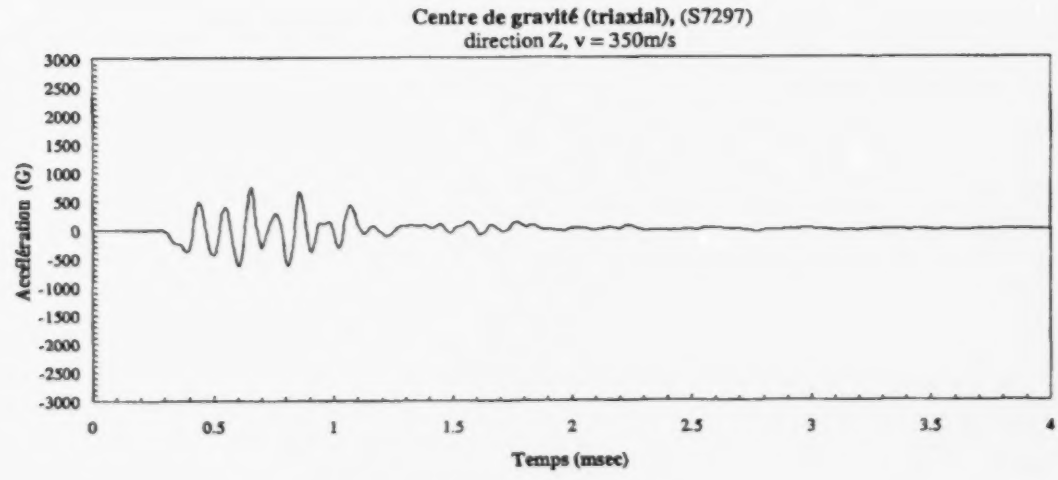


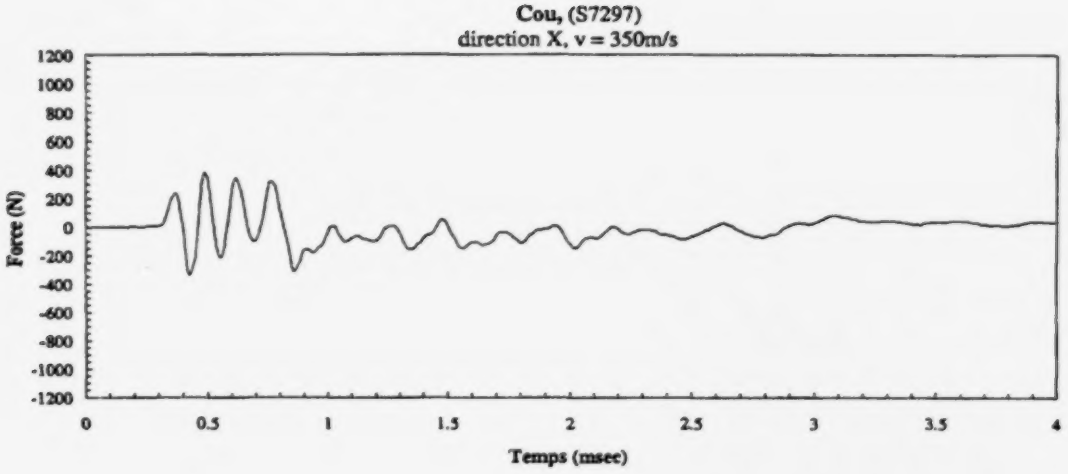

Accélération casque S7297

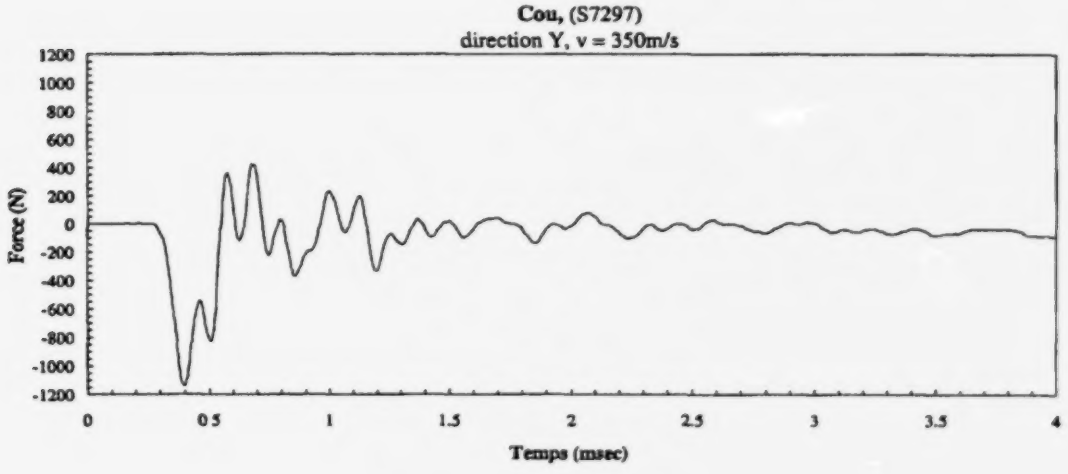


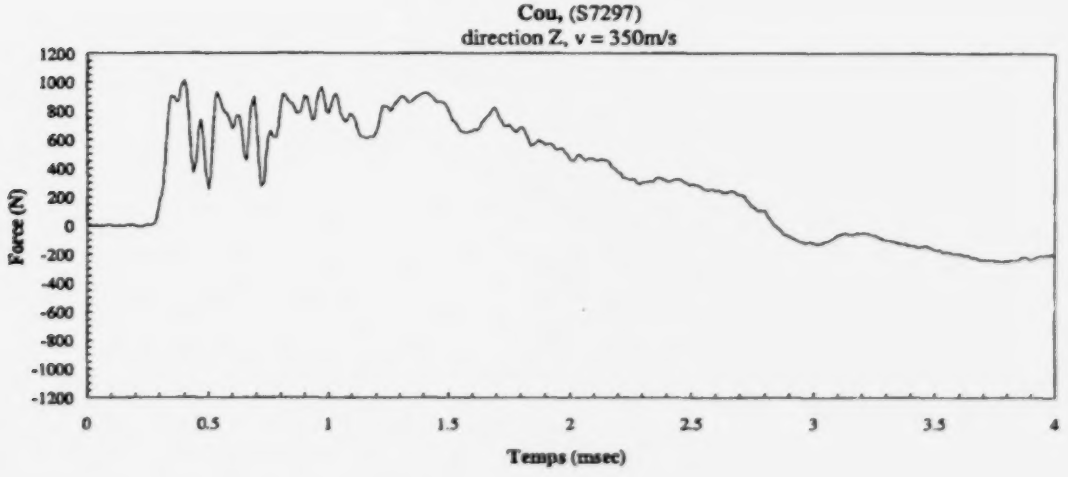



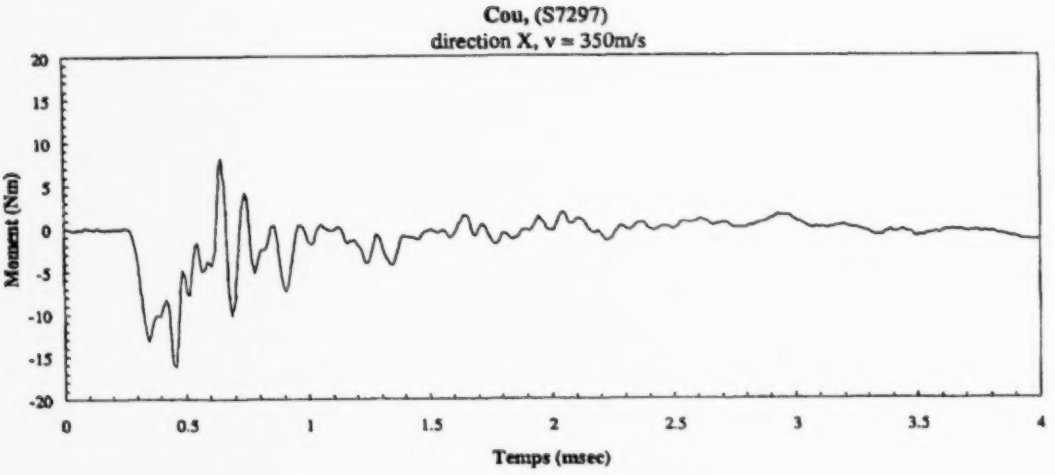

Accélération casque S7297

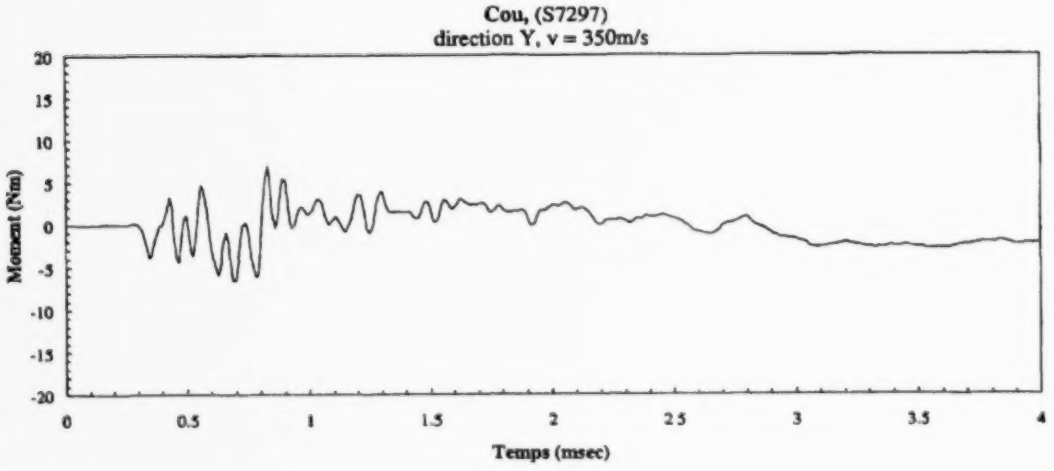


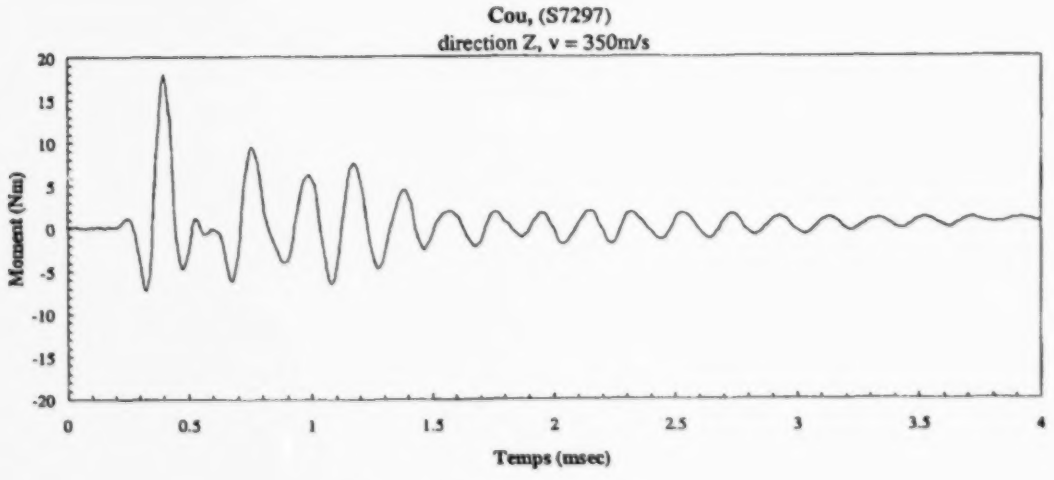



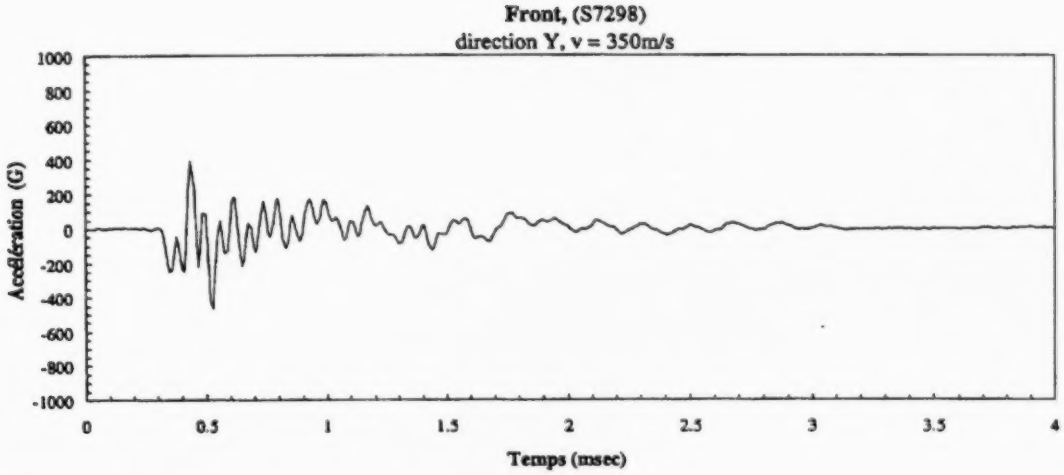

Accélération casque S7297

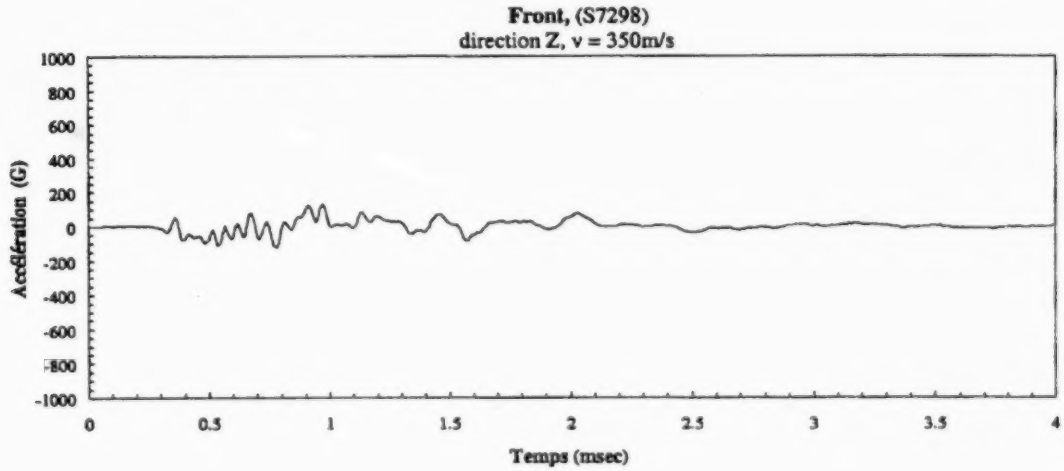


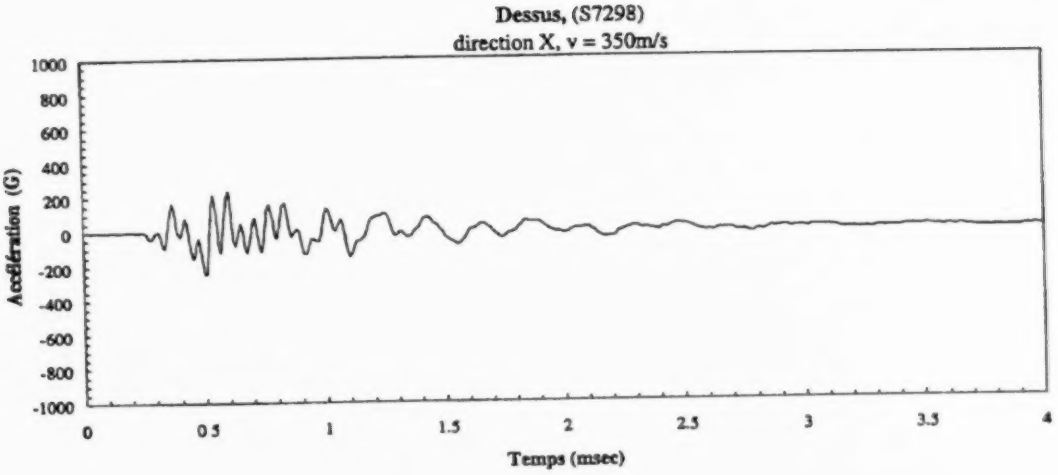



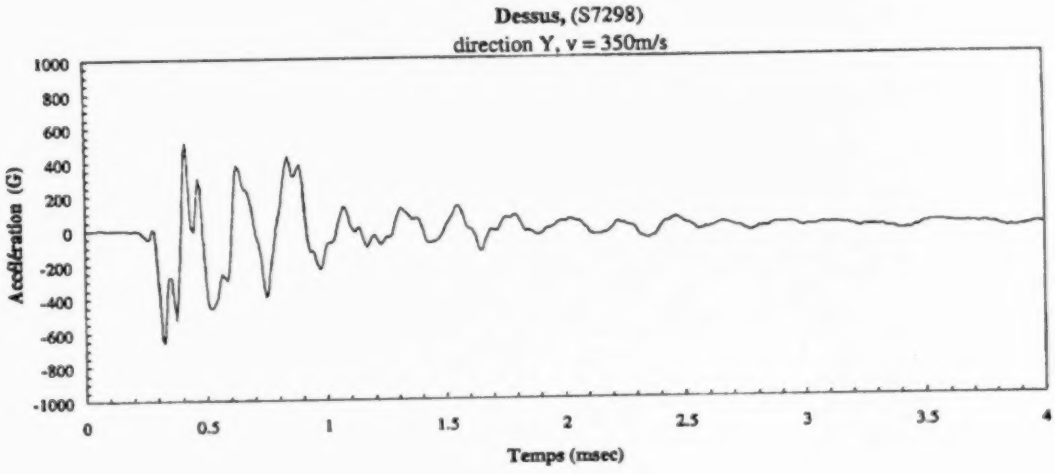

Accélération casque S7297



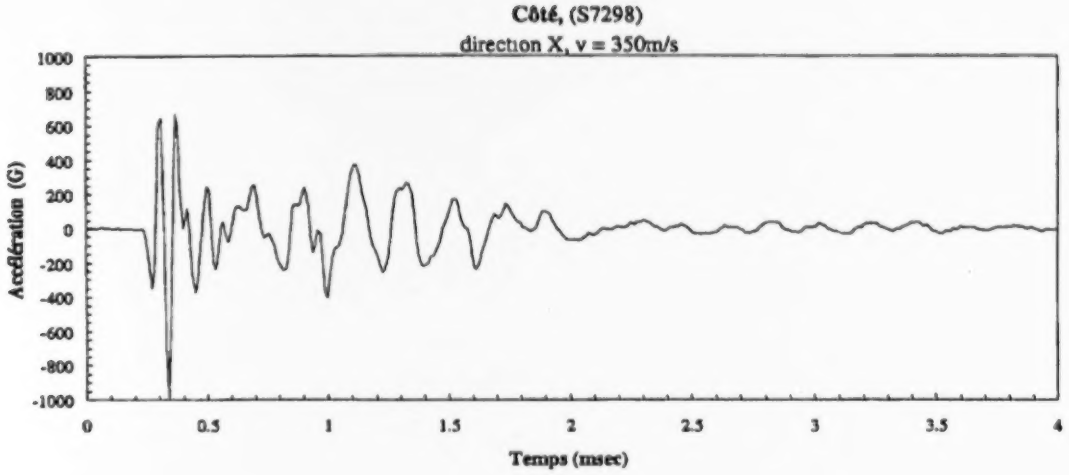



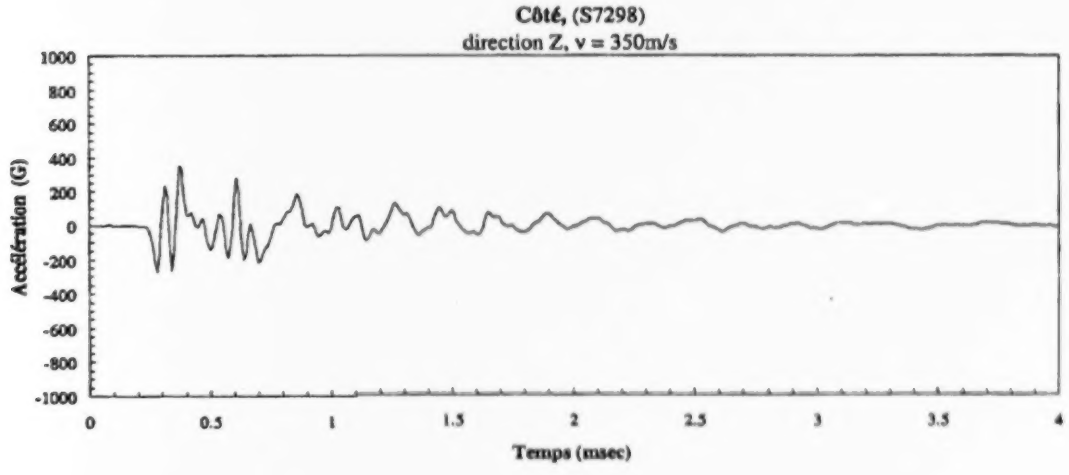

Accélération casque S7298



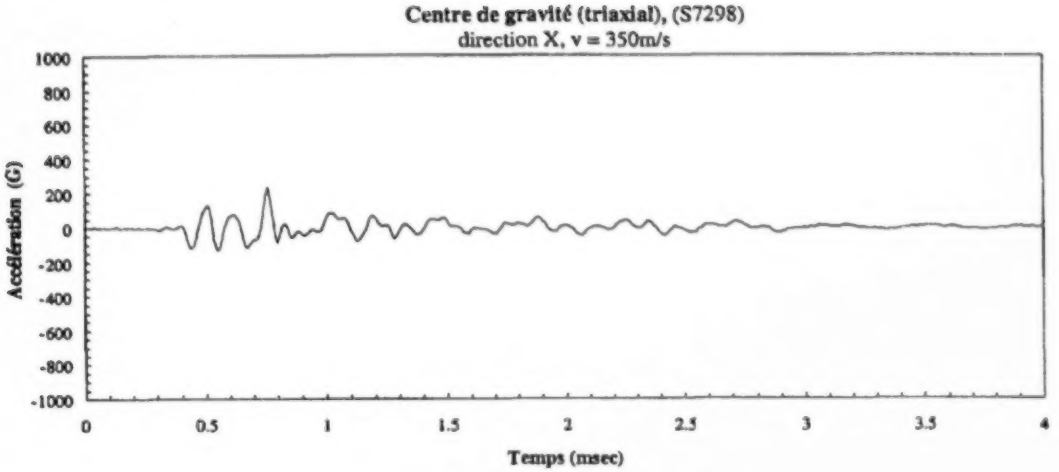



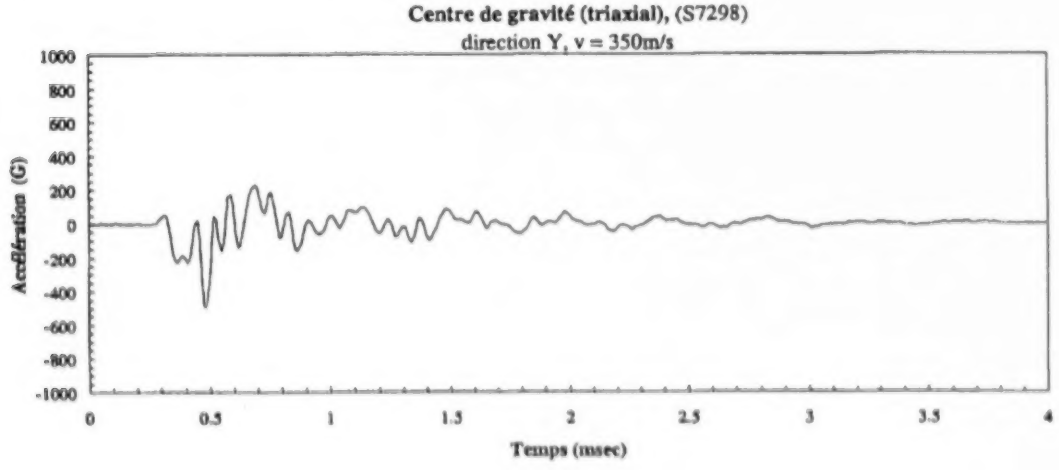

Accélération casque S7298

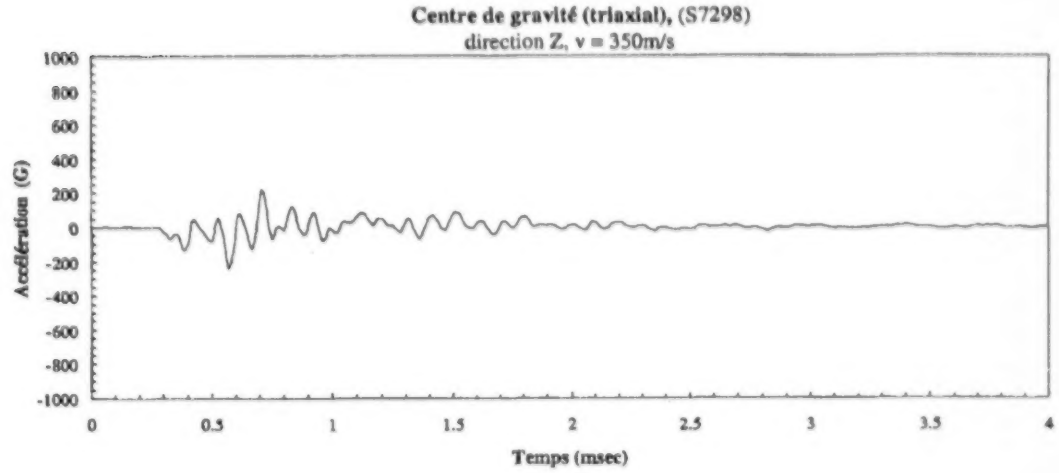


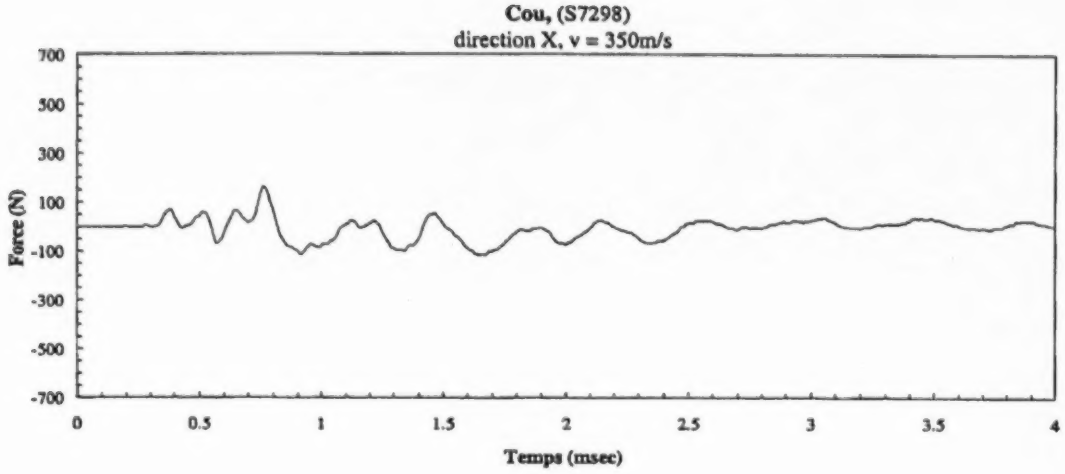

Accélération casque S7298

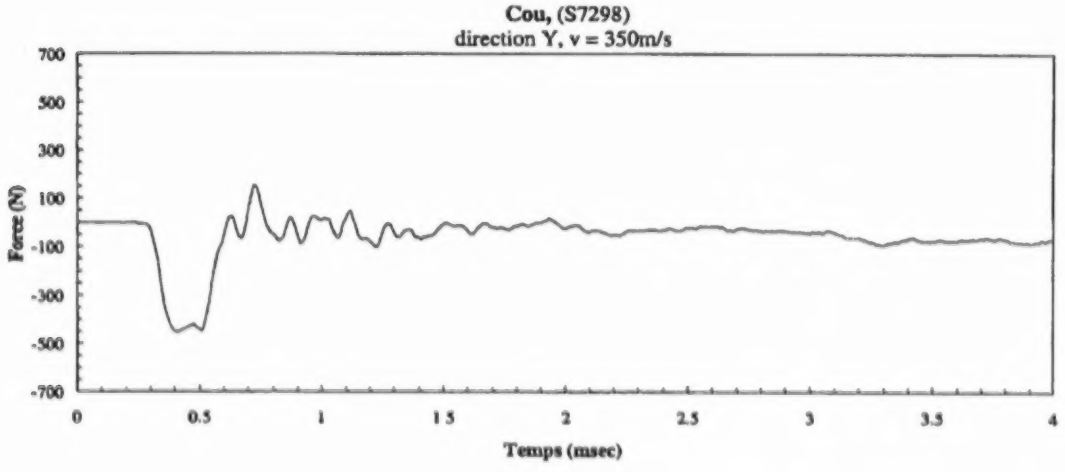


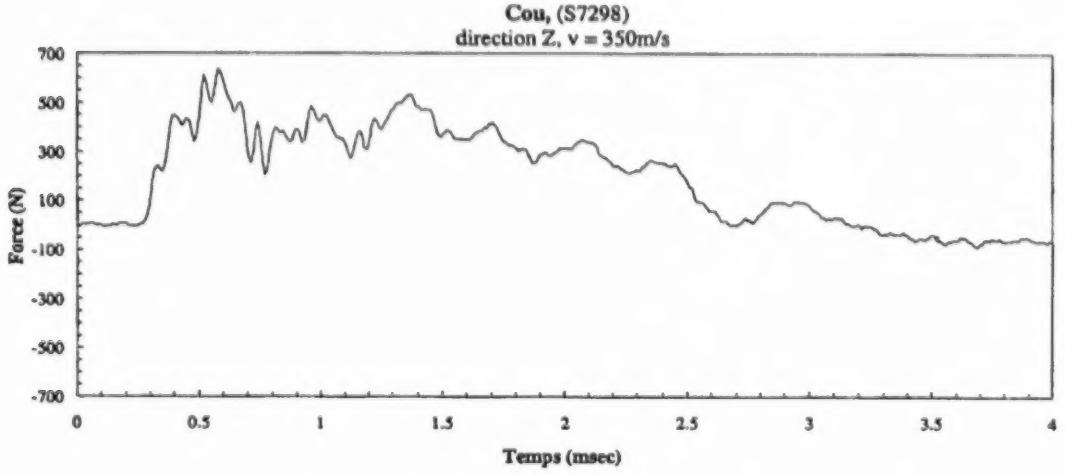



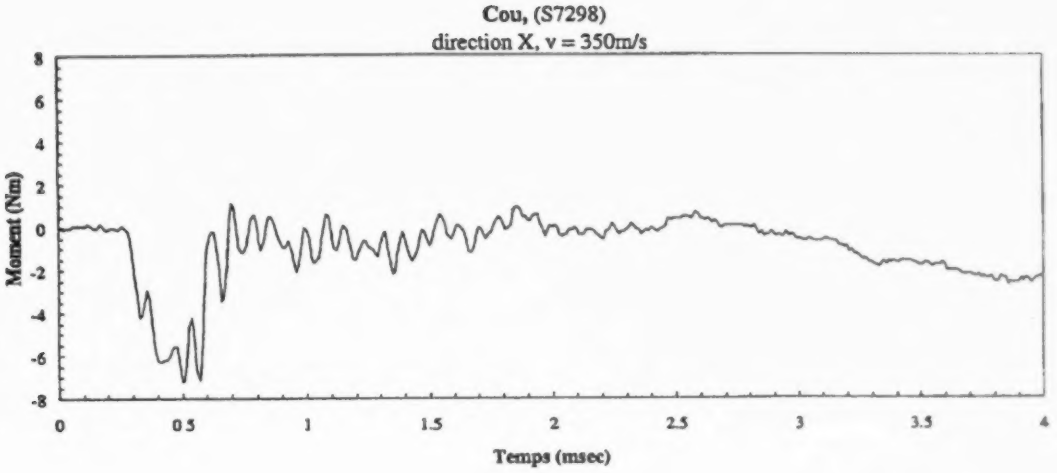

Accélération casque S7298

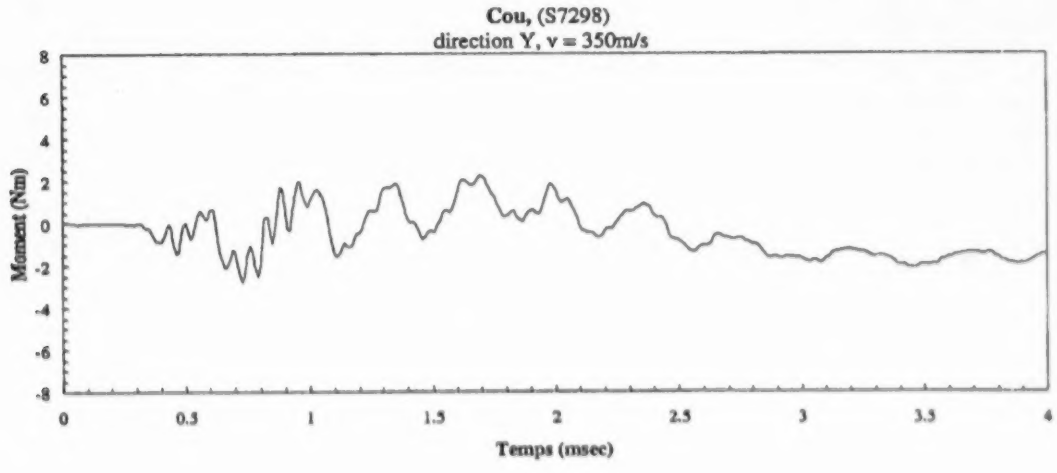


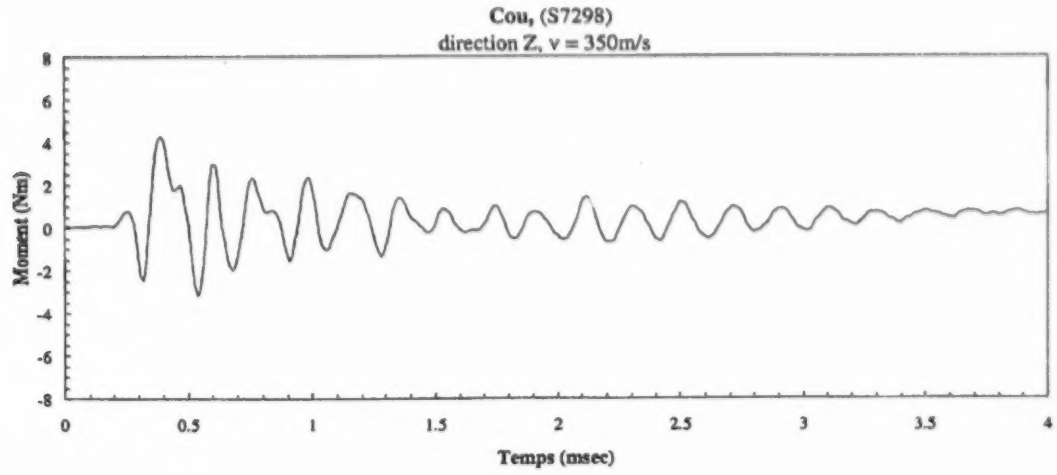




Accélération casque S7298




Accélération casque S7298

## Liste de distribution

Interne :

1 – Directeur Général

1 – Directeur, Section effet des armes

6 – Bibliothèque des documents

1 – M. Bolduc (auteur)

1 – M. Szymczak

1 – D. Nandlall

1 – K. William

1 – D. Bourget

1 – G. Pageau

Externe :

1 – DRDKIM

1 – DRDKIM (unbound)

SANS CLASSIFICATION

COTE DE SÉCURITÉ DE LA FORMULE
(plus haut niveau du titre, du résumé ou des mots-clefs)

## FICHE DE CONTRÔLE DU DOCUMENT

| 1. PROVENANCE (le nom et l'adresse)<br>CRDV | 2. COTE DE SÉCURITÉ<br>(y compris les notices d'avertissement, s'il y a lieu)<br>Sans Classification |
|---|---|

3. TITRE (Indiquer la cote de sécurité au moyen de l'abréviation (S, C, R ou U) mise entre parenthèses, immédiatement après le titre.)
Comparaison d'impact balistique entre les systèmes plaques composites/tête hybride et casques de combat/tête hybride

4. AUTEURS (Nom de famille, prénom et initiales. Indiquer les grades militaires, ex.: Bleau, Maj. Louis E.)
Manon Bolduc

| 5 DATE DE PUBLICATION DU DOCUMENT (mois et année)<br>Octobre 2001 | 6a. NOMBRE DE PAGES<br>29 | 6b. NOMBRE DE REFEREN<br>9 |
|---|---|---|

7. DESCRIPTION DU DOCUMENT (La catégorie du document, par exemple rapport, note technique ou mémorandum. Indiquer les dates lorsque le r
couvre une période définie )
mémorandum

8. PARRAIN (le nom et l'adresse)

| 9a. NUMÉRO DU PROJET OU DE LA SUBVENTION<br>(Spécifier si c'est un projet ou une subvention)<br>12cb15 | 9b NUMÉRO DE CONTRAT |
|---|---|
| 10a. NUMÉRO DU DOCUMENT DE L'ORGANISME EXPÉDITEUR | 10b. AUTRES NUMÉROS DU DOCUMENT<br>N/A |

11. ACCÈS AU DOCUMENT (Toutes les restrictions concernant une diffusion plus ample du document, autres que celles inhérentes à la cote de sécu

- ☒ Diffusion illimitée
- ☐ Diffusion limitée aux entrepreneurs des pays suivants (spécifier)
- ☐ Diffusion limitée aux entrepreneurs canadiens (avec une justification)
- ☐ Diffusion limitée aux organismes gouvernementaux (avec une justification)
- ☐ Diffusion limitée aux ministères de la Défense
- ☐ Autres

12. ANNONCE DU DOCUMENT (Toutes les restrictions à l'annonce bibliographique de ce document. Cela correspond, en principe, aux données d
au document (11). Lorsqu'une diffusion supplémentaire (à d'autres organismes que ceux précisés à la case 11) est possible, on pourra élargir le
de diffusion de l'annonce.)

SANS CLASSIFICATION

COTE DE LA SÉCURITÉ DE LA FORMULE
(plus haut niveau du titre, du résumé ou des mots-clefs)

SANS CLASSIFICATION

COTE DE LA SÉCURITÉ DE LA FORMULE
(plus haut niveau du titre, du résumé ou des mots-clefs)

13. SOMMAIRE (Un résumé clair et concis du document. Les renseignements peuvent aussi figurer ailleurs dans le document. Il est souhaitable que le sommaire des documents classifiés soit non classifié. Il faut inscrire au commencement de chaque paragraphe du sommaire la cote de sécurité applicable aux renseignements qui s'y trouvent, à moins que le document lui-même soit non classifié. Se servir des lettres suivantes: (S), (C), (R) ou (U). Il n'est pas nécessaire de fournir ici des sommaires dans les deux langues officielles à moins que le document soit bilingue.)

Au cours d'études récentes, une tête hybride III a été modifiée et utilisée afin d'étudier les effets potentiellement létaux d'armes de petit calibre contre des casques de combat. Cette tête de laboratoire permet notamment de vérifier la capacité de protection de la tête par des casques prototypes au lieu d'évaluer leur capacité d'arrêt des projectiles Cependant, l'utilisation de casques prototypes est souvent difficile en raison de leur nombre limité et de leur coût élevé. Les plaques étant plus faciles à fabriquer, elles sont généralement beaucoup moins onéreuses. C'est pourquoi le CRDV a entrepris une série d'essais utilisant un projectile de petit calibre permettant de comparer les résultats de la tête instrumentée et protégée d'un casque avec ceux d'une tête instrumentée et protégée par une plaque composite fabriquée à partir du même matériaux et selon les mêmes procédures que celles du casque. Les résultats montrent que la technique a du potentiel, mais qu'elle requiert d'autres essais pour être raffinée et pour établir la relation mathématique appropriée

14. MOTS-CLÉS, DESCRIPTEURS OU RENSEIGNEMENTS SPÉCIAUX (Expressions ou mots significatifs du point de vue technique, qui caractérisent un document et peuvent aider à le cataloguer. Il faut choisir des termes qui n'exigent pas de cote de sécurité. Des renseignements tels que le modèle de l'équipement, la marque de fabrique, le nom de code du projet militaire, la situation géographique, peuvent servir de mots-clés. Si possible, on doit choisir des mots-clés d'un thésaurus, par exemple le "Thesaurus of Engineering and Scientific Terms (TESTS)". Nommer ce thésaurus. Si l'on ne peut pas trouver de termes non classifiés, il faut indiquer la classification de chaque terme comme on le fait avec le titre.)

réponse balistique, tête anthropomorphique, tête hybride, casque de combat, effets terminaux,

#516513

CA011923

SANS CLASSIFICATION

COTE DE SÉCURITÉ DE LA FORMULE
(plus haut niveau du titre, du résumé ou des mots-clefs)